

ANNALES

m g m

DES MINES

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 général des ponts et chaussées, des mines et des chemins de fer et le directeur du personnel, du secrétariat et de la comptabilité, est composée ainsi qu'il suit :

MM.

TOURNAIRE, inspecteur général des mines, *président*.

JACQUOT, inspecteur général.

DE CHANGOURTOIS, d^o

BOCHET, d^o

PESCHART D'AMBLY, d^o

LUUYT, inspecteur général, directeur de l'École supérieure des mines.

LINDER, inspecteur général.

CASTEL, d^o

HATON DE LA GOUPILLIÈRE, inspecteur général.

ROGER, d^o

MALLARD, ingénieur en chef, professeur à l'École supérieure des mines.

LORIEUX, ingénieur en chef, secrétaire du conseil général des mines.

MM.

RÉSAL, ingénieur en chef, professeur à l'École supérieure des mines.

KELLER, ingénieur en chef.

FUCHS, ingénieur en chef, professeur à l'École supérieure des mines.

VICAIRE, d^o

CARNOT, ingénieur en chef, inspecteur de l'École supérieure des mines.

AGUILLON, ingénieur en chef, professeur à l'École supérieure des mines.

DOUVILLÉ, d^o

LODIN, ingénieur, professeur à l'École supérieure des mines.

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, aux prix de revient.

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

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

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

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

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.

8.
HUITIÈME SÉRIE

MÉMOIRES. — TOME VIII.

PARIS

V^{VE} CH. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES,

Quai des Augustins, n° 49

1885

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 1884, 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. — Bibliothèque universelle et Revue suisse ; partie scientifique : archives des sciences physiques et naturelles. *Genève.*
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. — SOCIÉTÉ 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. *Giessen.*
24. — Zeitschrift des OESTERREICHISCHEN INGENIEUR-UND ARCHITECTEN-VEREINS. *Vienne.*
25. — Anales de la SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA. *Buenos-Ayres.*
26. — Zeitschrift des ARCHITEKTEN 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. *Bruxelles.*
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. — Oesterreichische 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.*

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1885.

OUVRAGES FRANÇAIS.

- 1° *Mathématiques pures.*
- BERTRAND (J.). — Traité d'arithmétique. 8^e édition. In-8°, 344 p. 4 fr. (10195)
- BERTRAND (J.) et H. GARCET. — Traité d'algèbre. Deuxième partie, à l'usage des classes de mathématiques spéciales. Nouvelle édition. In-8°, 392 pages avec fig. 5 fr. (9969)
- BIHLER (C.). — Note d'algèbre : Sur la construction des courbes dont l'équation est donnée en coordonnées polaires. In-8°, 38 p. avec 6 fig. (Extr. des *Nouvelles Annales de mathématiques.*) (7110)
- BRUNEL (G.). — Note sur l'analyse indéterminée et la géométrie à n dimensions. In-8°, 43 p. Bordeaux. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sciences physiques et naturelles de Bordeaux.*) (6076)
- DAUTHEVILLE (S.). — Étude sur les séries entières par rapport à plusieurs variables imaginaires indépendantes. In-4°, 61 p. avec 2 fig. (7143)
- DEMARTRES (G.). — Sur les surfaces à génératrice circulaire. In-4°, 65 p. (6571)
- DUPUIS (J.). — Tables de logarithmes à cinq décimales, d'après J. de Lalande, disposées à double entrée et revues, par J. Dupuis. In-18, iv-230 p. 2 fr. (7344)
- FABRY (E.). — Sur les intégrales des équations différentielles linéaires à coefficients rationnels. In-4°, 105 p. (7570)
- GOFFART (N.). — Résolution uniforme des équations des quatre premiers degrés. In-8°, 32 p. 1 fr. (8106)

- LA GOURNERIE (J. de). — Traité de géométrie descriptive. 2^e édition. Troisième partie. In-4°, xx-230 pages et atlas in-4° de 46 pl. (9133)
- GROS DE PERRODIL. — Théorie de la règle logarithmique, usage de la règle, emploi des nombres primordiaux dans les calculs avec les tables et avec la règle. In-8°, 30 p. 4 fr. (7876)
- HANKEL (H.). — Esquisse historique sur la marche du développement de la nouvelle géométrie, par Hermann Hankel. Traduction de M. Dewulf, colonel du génie. In-8°, 36 p. avec fig. (Extr. du *Bull. des sciences mathématiques.*) (11568)
- HUMBERT (G.). — Sur les courbes de genre un. In-4°, viii-133 p. (7182)
- JAVARY (A.). — Traité de géométrie descriptive. Première partie : la Ligne droite, le Plan, les Polyèdres, répondant à la première partie du programme des connaissances exigées pour l'admission à l'École polytechnique, etc., renfermant, en outre, les principes de la construction des ombres, la perspective cavalière, les projections cotées. 2^e édition. In-8°, x-265 p. avec fig. et pl. (10294)
- KIAËS (J.). — Traité d'arithmétique. 3^e édition. In-12, viii-254 p. 2^f, 75. (9129)
- LAGRANGE. — Œuvres de Lagrange, publiées par les soins de M. J. A. Serret, sous les auspices de M. le ministre de l'instruction publique. T. 10. In-4°, 461 p. 18 fr. (9134)
- LAURENT (H.). — Traité d'analyse : T. 1 : Calcul différentiel, applications analytiques et géométriques. In-8°, xi-392 p. 10 fr. (7644)
- LEROY (C. F. A.) et E. MARTELET. — Traité de géométrie descriptive, suivi de la méthode des plans cotés et de la théorie des engrenages cylindriques et coniques, avec une collection d'épures composée de 71 planches ; par C. F. A. Leroy, ancien professeur à l'École polytechnique. 12^e édition, revue et annotée par M. E. Martelet, professeur de géométrie descriptive. In-4°, xx-369 p. avec fig. et atlas de 71 pl. (10791)
- MARIE (M.). — Histoire des sciences mathématiques et physiques. T. 7. De Newton à Euler (suite). In-8°, 278 p. avec fig. (11081)
- T. 8. D'Euler à Lagrange. In-8°, 265 p. 6 fr. (12275)
- OCAGNE (M. d'). — Coordonnées parallèles et axiales, méthode de transformation géométrique et procédé nouveau de calcul graphique déduits de la considération des coordonnées parallèles. In-8°, 93 p. avec fig. et pl. 3 fr. (9163)

- SERRET (J. A.). — Cours de calcul différentiel et intégral. 3^e édition. T. 1. Calcul différentiel. In-8°, xiv-617 pages avec fig. (L'ouvrage complet en 2 vol., 24 fr.) (12324)
- SONGAYLO (E.). — Traité de géométrie descriptive. Première partie, à l'usage des élèves de la classe de mathématiques spéciales. Grand in-4°, vi-442 p. avec fig. et atlas de 62 pl. (11417)
- 2^e Physique. — Chimie. — Métallurgie.
- BENOIT (J. R.). — Construction des étalons prototypes de résistance électrique du ministère des postes et des télégraphes. In-4°, 80 pages avec fig. 4^f, 50. (8505)
- BICHAT (E.) et R. BLONDLOT. — Introduction à l'étude de l'électricité statique. In-8°, x-141 p. avec 64 fig. 4 fr. (8006)
- BLAVIER (E. E.). — Essais périodiques des lignes électriques aériennes. In-8°, 85 p. (Extr. des *Annales télégraphiques.*) (6516)
- BOULANGER (J.). — Sur les progrès de la science électrique et les nouvelles machines d'induction. In-8°, 179 p. avec fig. (Extrait du *Mémorial de l'officier du génie.*) (11492)
- CROULLEBOIS. — Théorie élémentaire des lentilles épaisses ; Interprétation géométrique et exposition analytique des résultats de Gauss. In-8°, ix-117 p. avec fig. 3^f, 50. (9087)
- DUCLAU (S.). — Histoire de l'électricité. Ouvrage mis au courant des découvertes les plus récentes. In-4°, 319 pages. (7845)
- DUFET (H.). — Recherches expérimentales sur la variation des indices de réfraction sous l'influence de la chaleur. In-8°, 139 p. (7340)
- DUREAU (G.). — Le Procédé à la strontiane pour l'extraction du sucre des mélasses. In-16, 31 p. (11767)
- Encyclopédie chimique publiée sous la direction de M. Frémy. T. 3 : Métaux, sixième cahier ; par M. P. Sabatier, professeur à la Faculté des sciences de Toulouse. In-8°, 440 p. 20 fr. (7348)
- T. 4 : Analyse chimique ; Analyse des gaz ; par M. J. Ogier, directeur du laboratoire de toxicologie à la préfecture de police. In-8°, 289 p. 15 fr. (7349)
- T. 6 : Chimie organique, fascicule 2 ; Alcools et phénols ; par M. Prunier, chargé du cours de chimie analytique à l'École supérieure de pharmacie. In-8°, cxv-890 p. 50 fr. (7350)
- T. 8 : Chimie organique, fascicule 6 ; Alcalis organiques, 2^e section ; Alcaloïdes naturels ; par M. Chastaing, pharmacien en chef de l'hôpital de la Pitié. In-8°, 675 p. 32^f, 50. (7351)

- Encyclopédie chimique publiée sous la direction de M. Frémy.
 — T. 10 : Applications de chimie organique; Contribution à l'étude de la chimie agricole; par M. Th. Schlœsing, de l'Institut. In-8°, vi-253 p. 12f,50. (7352)
 — T. 2 : Métalloïdes (complément). Première partie, par MM. Urbain et Stanislas Meunier. In-8°, 515 p. 12f,50. (7536)
 — T. 3 : Métaux, premier cahier : Propriétés générales des métaux et des sels; Principes de classification; par M. G. Rousseau. In-8°, 484 p. 22f,50. (7557)
 — T. 4 : Analyse chimique, tableaux d'analyse qualitative; par M. L. Prunier, chargé du cours de chimie analytique à l'École supérieure de pharmacie. In-8°, 9 p. et 23 tableaux. 6f,25. (7558)
 — T. 7, ou t. 3 de la Chimie organique : Aldéhydes; par M. Edme Bourgoïn, professeur à l'École de pharmacie. 1 vol. in-8° en deux fascicules, 908 p. (Le fascicule 1 séparément, 25 fr.; le fascicule 2, 20 fr.) (7559)
 FIGUIER (A.). — Note sur une nouvelle pile à gaz et l'action chimique de l'effluve électrique. In-8°, 9 p. et planche. Bordeaux. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sciences physiques et naturelles de Bordeaux.*) (6899)
 GUILLEMIN (A.). — Le Monde physique : T. 5 et dernier. La Météorologie; la Physique moléculaire. Livraisons 2 à 273. (Fin.) In-8°, p. 17 à 1024, avec 31 pl. hors texte dont 9 en couleur et 343 vignettes. (6122)
 Instruction relative aux conditions d'analyse des eaux destinées à l'alimentation publique, adoptée par le comité consultatif d'hygiène publique de France. In-8°, 14 p. (9853)
 JAMIN et BOUTY. — Cours de physique de l'École polytechnique; par M. Jamin. 4^e édition, augmentée et entièrement refondue par MM. Jamin, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, et Bouty, professeur suppléant à la Faculté des sciences de Paris. T. 2. Fascicule 2. Calorimétrie. (Fin du volume.) In-8°, 235 pages et 2 planches. 4f,50. (8386)
 JAMIN et BOUTY. — Cours de physique à l'usage de la classe de mathématiques spéciales. 2 vol. In-8°. T. 1. (Instruments de mesure, Hydrostatique, Thermométrie, Dilatations), 335 p. avec fig. et pl.; t. 2 (Calorimétrie, Optique géométrique), 419 p. avec fig. et pl. (Les 2 volumes, 18 fr.) (12030)
 JOANNIS (A.). — Note sur les oxydes de cuivre. In-8°, 6 p. (8637)
 JUPPONT (P.). — L'Électricité à l'exposition de l'Observatoire de Paris; Applications nouvelles, progrès récents, actualités

- électriques. In-8°, 141 p. avec 127 fig. 3f,60. (7382)
 LABAT (A.). — Du degré de certitude de l'analyse des eaux. In-8°, 10 p. (Extr. des *Annales de la Soc. d'hydrologie médicale de Paris.*) (6375)
 LANGLEBERT (J.). — Chimie. 37^e édition, tenue au courant des progrès de la science les plus récents (1885) et suivie d'un appendice sur la mécanique chimique. In-12, xii-506 pages avec 143 fig. et cahier chromolithographique. 4 fr. (9336)
 LERAY (A.). — Essai sur la synthèse des forces physiques. In-8°, x-180 p. avec fig. 5 fr. (10579)
 LIVACHE (A.). — Métallurgie du nickel; Visite des élèves de l'École supérieure des mines à l'usine de MM. Christoffe et C^e à Saint-Denis. In-8°, 15 p. (Extr. du *Bull. de l'Assoc. amicale des élèves de l'École sup. des mines.*) (6968)
 LOUISE (E.). — Synthèse d'hydrocarbures, d'acétones, d'acides, d'alcool, d'éthers de quinones dans la série aromatique. In-4°, 69 p. (7665)
 LUNGE (G.). — Traité de la distillation du goudron de houille et du traitement de l'eau ammoniacale; par G. Lunge, professeur de chimie technologique à l'École polytechnique fédérale de Zurich. Traduit de l'allemand par le Dr L. Gautier. In-8°, x-431 p. avec 89 fig. 12 fr. (8928)
 OFFRET (J.). — Note sur le mode d'appréciation de la valeur des potasses commerciales. In-8°, 19 pages. Douai. (Extr. des *Mém. de la Société d'agriculture, sciences et arts.*) (8428)
 PARENTY (H.). — Mémoire sur les appareils concernant les fluides pesants présentés à l'Exposition universelle d'Anvers. In-8°, 24 pages. (9644)
 PLUMANDON (J. N.). — Formation des principaux hydrométéores, brouillard, bruine, pluie, givre, neige, grésil. Nouvelle théorie de la grêle. In-18 Jésus, 57 pages. 1f,25. (7429)
 RICHE (A.). — Mémoire sur le dosage du manganèse, du plomb, du cuivre, du zinc et du nickel, et sur l'analyse des alliages de ces différents métaux. Nouvelle édition revue et augmentée. In-8°, 40 p. avec fig. (11405)
 SCHLAGDENHAUFFEN. — Recherches sur la présence du manganèse dans les végétaux. In-8°, 11 p. Nancy. (Extr. du *Compte rendu des travaux de la Soc. de pharmacie de Lorraine.*) (7236)
 TRÈVE. — Note sur le rayon vert observé dans l'Océan Indien. In-16, 7 pages. (12177)
 VIGUIER. — Du rôle de la vapeur d'eau dans les météores lumi-

- neux et dans quelques phénomènes de météorologie ou d'astronomie observés dans le Languedoc. In-8°, 28 p. Montpellier. (Extr. du *Bull. de la Soc. languedocienne de géographie.*) (7470)
- VINCENT (L.). — Du rôle industriel de la magnésie. In-8°, 8 p. Marseille. (Extr. du *Bull. de la Soc. scientifique industrielle de Marseille.*) (10460)
- 3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*
- Annuaire géologique universel et Guide du géologue autour de la terre dans les musées, les principales collections et les gisements de fossiles et minéraux; par le D^r Daguin-court, secrétaire de la Société géologique de France, avec la collaboration de MM. Chelot, Choffat, Haug, Jaccard, de Margerie, Rutot, Svedonius, Van den Broeck, Vélain et Uhlig. Petit in-8°, 438 p. (7481)
- ARCELIN (A.). — Silex tertiaires. In-8°, 12 pages et planche en phototypie. (Extr. de la revue: *Matériaux pour l'histoire primitive et naturelle de l'homme.*) (7992)
- AULT-DUMESNIL (G. d'). — Note sur de nouvelles fouilles faites à Thenay (Loir-et-Cher) en septembre 1884. In-8°, 41 p. avec tableaux et figures (Extr. du même recueil.) (7996)
- BARET (C.). — Description des minéraux de la Loire-Inférieure, suivie d'une notice sur une espèce nouvelle (bertrandite) et sur une argile non décrite. In-8°, 120 p. Nantes. (7280)
- BIGOT (A.). — Compte rendu des excursions géologiques faites par la Société linnéenne de Normandie les 5 et 7 juillet 1884; Nouvelles observations sur le silurien de la Hague. In-8°, 23 p. et planche. Caen. (Extr. du *Bull. de la Soc. linnéenne de Normandie.*) (6310)
- DU BOUCHER (H.). — Matériaux pour un catalogue des coquilles fossiles du bassin de l'Adour; l'Atlas conchyliologique de Grateloup, révisé et complété par M. Henry Du Boucher. In-8°, 52 p. Dax. (6097)
- BRETON (L.). — Étude sur le mode de formation de la houille du bassin franco-belge (théorie nouvelle). In-8°, 128 p. avec 18 figures et 10 planches. (11954)
- Carte géologique de France, à l'échelle de 1/500.000. Feuille de Boulogne. — Feuille de Nancy. — Feuille de Paris. — Feuille de Lille. (1430)

- Carte géologique de France, à l'échelle de 1/500.000. — Feuille VI, S.-E. : Strasbourg. — Feuille VI, S.-O. : Troyes. — Feuille X, N.-E. : Bordeaux. (1431)
- Feuille de Plymouth. — Feuille de Porstmouth. — Feuille de Mannheim. (1453)
- Feuille IX, N. O : Dijon. — Feuille de Bruxelles. — Feuille de Mayence. (1727)
- Carte géologique détaillée. Pl. n° 3 : Boulogne. — Pl. n° 115 : Ferrette. — Pl. n° 184 : Aurillac. (1295)
- CAU-DURBAN (D.). — La Grotte de Marsoulas (Haute-Garonne). In-8°, 9 p. avec 12 figures (Extr. de la revue: *Matériaux pour l'histoire primitive de l'homme.*) (8528)
- CHANTRE (E.). — L'époque glaciaire et les Anciens glaciers des Alpes. In-8°, 8 p. et 5 fig. (Extr. de la *Revue d'astronomie.*) (10948)
- COSSMANN. — Contribution à l'étude de la faune de l'étage bathonien en France (Gastropodes). In-4°, 378 pages et 18 planches. (Extr. des *Mém. de la Soc. géol. de France.*) (10223)
- DAVY (L. P.). — Le terrain dévonien supérieur à Chaudefonds (Maine-et-Loire). In-8°, 2 p. Angers. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'études scientifiques d'Angers.*) (9523)
- FONTANNES (F.). — Transformation du paysage lyonnais pendant les derniers âges géologiques. In-8°, 21 p. Lyon. (6325)
- Nouvelle contribution à la faune et à la flore des marnes pliocènes à *Brissoipsis* d'Eurre (Drôme). In-8°, 22 p. et planche. (9112)
- GAILLARD (F.). — Les monuments mégalithiques et les Fouilles de 1883 et 1884 (Erdeven, Plouharnel, Carnac, Quibéron, Locmariaquer); guide et itinéraire, avec indication des acquisitions et des restaurations faites par l'État. Avec 9 planches et une carte. 2^e édition, revue et augmentée. In-16, 44 p. Rennes. 1^r, 50. (10034)
- GÉRARDIN (L.). — La Terre, éléments de cosmographie, de météorologie et de géologie. In-18 Jésus, 432 p. avec 291 fig. (6336)
- GIRARDOT (A.). — Revue de géologie jurassienne. In-8°, 16 p. Besançon. (Extr. de l'*Annuaire de la section jurassienne du Club Alpin français.*) (8365)
- GUILLAUME (L.). — Esquisse géologique du canton de Raucourt (Ardennes). In-8°, 22 p. et planches. (8614)
- HENRIET (J.). — Mémoires sur les tremblements de terre de l'île de Chio. In-8°, 27 p. Marseille. (Extr. du *Bull. de la Soc. scientifique industrielle de Marseille.*) (10286)

- JACQUOT. — Mémoire sur les stations d'eaux minérales de la France, d'après les rapports des médecins-inspecteurs relatifs à la saison thermale de 1881 ; par M. Jacquot, inspecteur général des mines. In-8°, 180 pages. (6938)
- LAPPARENT (A. de). — Traité de géologie ; 2^e édition, revue et très augmentée. In-8°, 1504 p. avec 666 fig. 24 fr. (8397)
- LEMOINE (V.). — Nouvelle note sur le genre Simædosaure de la faune cernaysienne des environs de Reims, à propos de récentes publications de MM. Cope et Dollo sur le genre Champ-sosaure. In-8°, 16 p. Reims. (6149)
- NADAILLAC (de). — L'Homme tertiaire. In-8°, 60 p. (6700)
- OEHLERT (D.). — Description de deux centronelles du dévonien inférieur de l'ouest de la France. In-8°, 5 p. Angers. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'études scientifiques d'Angers.*) (9640)
- OLLIVIER (G.). — Études sur les coquilles fossiles d'Orbais-l'Abbaye (Marne). In-8°, 15 p. Reims. (7015)
- PARIZE. — Les variations de niveau du sol de la Bretagne. In-8°, 8 p. Morlaix. (Extr. du journal *Le Breton.*) (6437)
- PELLETAN (J.). — Microscope minéralogique de M. Em. Bertrand. In-8°, 4 p. (Extr. du *Journal de micrographie* du D^r J. Pelletan.) (8717)
- QUATREFAGES (A. de). — L'homme tertiaire et sa survivance. In-8°, 5 pages. (Extr. de la revue : *Matériaux pour l'histoire primitive de l'homme.*) (8736)
- ROULE (L.). — Recherches sur le terrain fluvio-lacustre inférieur de Provence. In-8°, 143 p. (Extr. des *Annales des sciences géologiques.*) (12317)
- ROUSSEL (J.). — Le dévonien et le carbonifère de Larbont et de Saint-Antoine. In-8°, 20 p. et plans. Foix. (8443)
- SEIGNETTE (A.). — Cours élémentaire de géologie (enseignement classique, programmes officiels du 22 janvier 1885) pour la classe de quatrième. In-12, 248 p. avec 184 fig. et carte géologique. 2f.50. (10433)
- TOURNIER (P.). et J. de RIOLS. — L'art de découvrir les sources propres à donner naissance à des fontaines jaillissantes, avec un aperçu des dépenses qu'entraîne leur établissement ; ouvrage accompagné de planches coloriées représentant les différentes coupes de terrains ; par Paul Tournier, ingénieur civil. Entièrement refondu, révisé et mis au courant des connaissances actuelles, etc., par J. de Riols, professeur de physique et de chimie. In-18 jésus, 48 p. 1f.25. (10894)
- VIVENOT-LAMY. — Note sur la question de l'existence de la houille

- dans les départements de Meurthe-et-Moselle et des Vosges, suivie d'une carte coloriée renfermant : 1^o le plan des lieux, 2^o la coupe des terrains de Nancy à Saint-Dié ; 3^o les altitudes des divers lieux ; 4^o la puissance des terrains jurassiques, etc., et d'un aperçu des conséquences de la découverte de la houille sur l'industrie métallurgique du groupe de Nancy ; 3^e édition, revue, corrigée et augmentée. In-4°, 16 p. et carte houillère. Nancy. (10463)
- Vues et coupes géologiques de la baie de la Seine, par G. Lennier. Pl. n^o 1 : Vue du cap de la Hève à Saint-Adresse, prise en mer à quatre mille au large. — Pl. n^o 2 : Vue de la côte entre le cap de la Hève et la vallée d'Harfleur. — Pl. n^o 3 : Coupes des falaises entre Harfleur et le Hodé. — Pl. n^o 4 : Vue de Honfleur à Villerville. — Pl. n^o 5 : Vue de Villerville à la butte de Bénerville, prise en mer à quatre milles au large. — Pl. n^o 6 : Vue de Villers-sur-Mer à Dives, prise en mer à quatre milles au large. (1499)
- 4^o Mécanique. — *Exploitation des mines.* — *Droit des mines.*
- BRESSE. — Cours de mécanique et machines professé à l'École polytechnique. T. 2. In-8°, xvii-528 p. avec fig. 12 fr. (6524)
- CHRÉTIEN (J.). — Le transport de la vapeur à de grandes distances et sa canalisation. In-8°, 26 p. avec 8 fig. (Extr. du *Bull. technol. de la Soc. des anciens élèves des écoles nation. d'arts et métiers.*) (7316)
- COLLIGNON (E.). — Traité de mécanique ; 2^e édition, revue et augmentée. Quatrième partie. Dynamique. Livres 5, 6 et 7. In-8°, 481 p. 7f.50. (6087)
- Traité de mécanique. Première partie : Cinématique. 3^e édition, revue et augmentée. In-8°, iv-553 p. avec fig. 7f.50. (10719)
- COSTE (H.) et MANIQUET (L.). — Traité théorique et pratique des machines à vapeur au point de vue de la distribution ; Méthode générale des gabarits permettant d'établir des épures approchées ou exactes de tous les types de machines ; Étude méthodique des principales distributions au double point de vue de leur fonctionnement et de leur construction ; 2^e édition. In-8°, viii-236 p. avec 53 fig. et un atlas de 46 planches. (11980)
- DESNOS (A.). — Description d'un moteur à chocs applicable aux ballons, voitures et bateaux. In-8°, 20 p. et planche. (8058)

- DUGUET (C.). — Déformation des corps solides; Limite d'élasticité et résistance à la rupture. Deuxième partie : Statique générale. In-8°, XLVI-315 p. avec figures. (12212)
- DUROY DE BRUIGNAC (A.). — Recherches sur la construction théorique des hélices propulsives. In-8°, 71 p. et planche. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (12215)
- FABRE (P.). — Les Mineurs et l'anémie, communication faite à la Société de l'industrie minérale tenue à Montluçon, le 20 janvier 1884, par le D^r P. Fabre, médecin des mines de Comentry. In-8°, 32 p. (6592)
- GROS DE PERRODIL. — Mécanique appliquée, deuxième partie : Mécanique moléculaire des milieux solides, homogènes ou cristallisés, de forme quelconque. In-8°, VIII-87 p. 2^f, 50. (7875)
- HIRSCH (J.) et DEBIZE. (A.). — Leçons sur les machines à vapeur. T. 1^{er}. 4^{er} fascicule. In-8°, XVIII-507 p. avec fig. et atlas de 7 planches in-plano. (9577)
- HUE (F.). — Le Pétrole, son histoire, ses origines, son exploitation dans tous les pays du monde, avec plusieurs gravures et une carte, un tableau de la production de tous les gisements exploités, etc. In-18, 312 p. 3^f, 50. (10292)
- LARUELLE (J.). — Les Chaudières à vapeur, leur installation et leur conduite; 2^e édition, revue et considérablement augmentée. In-12, 155 p. (9866)
- MAIGNE (P.). — Les Mines de France et de ses colonies. In-32, 184 p. 0^f, 60. (7668)
- MAILLARD. — Le Bassin houiller du Pas-de-Calais; par M. Vuillemin, ingénieur-administrateur des mines d'Aniche. Rapport présenté à la Société d'agriculture, sciences et arts de Douai, par M. Maillard, avocat, membre résidant. In-8°, 19 p. Douai. (Extr. des *Mém. de la Soc.*) (8409)
- DES MAISONS (P. A. P.). — Les Gisements aurifères en Australie; 1^{re} édition. In-8°, 48 p. (8337)
- MAYAUD (S. P.). — Recherches sur les exploitations minières par les Celtes et par les Romains dans les environs de Bénévent (Creuse). In-8°, 14 p. Limoges. (9624)
- MOUTIER (J.). — La Thermodynamique et ses principales applications. In-8°, 572 p. avec fig. 12 fr. (7693)
- MULLER (E.). — La Machine à vapeur, son histoire et son rôle; 2^e édition. In-18 Jésus, 289 p. avec 8 fig. 1^f, 25. (8177)
- ORDINAIRE DE LACOLONGE. — Théorie du parallélogramme de Watt. In-8°, 29 p. et planche. Bordeaux. (Extr. des *Mém. de la Soc. des science physiques et naturelles de Bordeaux.*) (8710)

- REUMAUX (E.). — Serrement exécuté dans la mine de Douvrin. In-8°, 21 p. et planches. Lille. (9683)
- SAGE (P.). — L'Industrie du naphte au Caucase. In-8°, 36 p. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (11894)
- Statique graphique. Planches n^{os} 1 à 29. (1434)
- THOMPSON (S. P.) — Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques; par Silvanus P. Thompson, directeur du collège technique de Finsbury à Londres. Traduit de l'anglais par E. Boistel. In-8°, xv-480 p. avec 246 fig. (9714)
- TISSANDIEB (G.). — La Navigation aérienne, l'Aviation et la Direction des aérostats dans les temps anciens et modernes. In-18 Jésus, 335 p. avec 99 fig. 2^f, 25. (11660)
- VALLIER (E.). — Étude sur les lois de la résistance de l'air. In-8°, 36 p. (Extr. de la *Revue d'artillerie.*) (8792)
- Visite aux mines d'Anzin (16 octobre 1884). In-8°, 27 p. avec figures. (Extr. du *Bulletin de géographie.*) (9725)
- WITZ (A.). — Traité théorique et pratique des moteurs à gaz. In-12, XXIV-288 p. avec fig. (10155)
- 5^e Constructions. — Chemins de fer.
- Annuaire officiel des chemins de fer, publié par la librairie Chaix, contenant un résumé analytique des documents législatifs, historiques, statistiques, administratifs et financiers relatifs aux chemins de fer français et étrangers; par Frédéric Dubois, docteur en droit, sous-directeur de l'imprimerie Chaix. 2 vol. In-18 Jésus, 33^e année (exercice 1881), VIII-388 p. et carte; 34^e année (exercice 1882), VIII-388 p. et carte. (11935)
- BAUM (C.). — Le Prix de revient des transports par chemins de fer, conférence faite le 14 janvier 1885. In-8°, 21 p. (Extr. du *Journal de la Soc. de statistique de Paris.*) (8002)
- BEUF (L.). — Les Voies de communication, en droit romain; les Chemins de fer d'intérêt local, en droit français. In-8°, LXXVIII-243 p. (6509)
- BUSQUET (L.). — Le Grand canal maritime et la Société d'études des travaux publics. In-8°, 6 p. (11215)
- Carte kilométrique des chemins de fer français, formant barème perpétuel des distances pour l'application des tarifs, le choix des itinéraires, etc., par M. Maupin, 4^e édition (militaire), 1885, à l'échelle de 1/1.160.000. (1498)
- Chemin (Le) de fer métropolitain de Paris. In-8°, 56 p. et plan. 0^f, 50. (7814)

- CROIZETTE-DESNOYERS (P.). — Cours de construction des ponts. 2 vol. in-4° et atlas in-f° de 45 pl. T. 1, iv-496 p. avec fig.; t. 2, 586 p. avec fig. (9524)
- DEMOULIN (M.). — Étude sur les locomotives anglaises. In-8° carré, 414 p. et 6 pl. (9799)
- DURAND-CLAYE (A.). — L'Assainissement intérieur et extérieur de la ville de Berlin. In-8°, 16 p. (Extr. des *Annales industrielles*.) (9805)
- Installations d'écoulements directs à l'égout, service d'assainissement de la Seine. In-8°, 8 pages et plan. (Extr. du même recueil.) (9806)
- DURAND-CLAYE (C.-L.) et MARX (L.). — Routes et chemins vicinaux. Routes, tracé, rédaction des projets, construction, entretien: par Charles-Léon Durand-Claye, ingénieur en chef, professeur à l'École nationale des ponts et chaussées. Chemins vicinaux; par Léopold Marx, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite. In-8°, xii-624 p. avec fig. (8866)
- GUÉROULT (P.). — Notice sur les travaux exécutés à Saint-Denis (Seine) en 1882-1883 pour la distribution des eaux du puits artésien de la Déesse. In-8°, 48 p. avec fig. et planche. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils*.) (9837)
- Guide des candidats à l'emploi de commissaire de surveillance administrative des chemins de fer, conforme aux derniers règlements officiels. In-32, 15 p. 0^e, 50. (7642)
- GUILLEMAIN (P.). — Navigation intérieure, rivières et canaux. 2 vol. in-8°. T. 1. vii-592 p. avec figures. 40 fr. (6921)
- MARX (L.). — L'entretien des routes nationales. Conférence faite à Paris, le 13 mars 1885. In-8°, 20 p. (Extr. du *Journal de la Société de statistique de Paris*.) (41602)
- MAURER (M.). — Statique graphique appliquée aux constructions, toitures, planchers, poutres, ponts, etc. Avec un atlas de 20 planches in-4°. 2^e édition, revue et augmentée. In-8°, x-302 pages avec tableaux. (40799)
- MILLE (A.). — Assainissement des villes par l'eau, les égouts, les irrigations. In-8°, iv-279 p. avec cartes et plans. 25 fr. (41861)
- MULLER-BRESLAU (H.) et T. SEYRIG. — Éléments de statique graphique appliqué aux constructions. Première partie: Poutres droites, poussée des terres, voûtes; par H. Muller-Breslau (traduction par T. Seyrig.) Deuxième partie: Poutres continues, applications numériques; par T. Seyrig, ingénieur constructeur. In-8°, xv-392 p., avec atlas de 29 pl. in-4°. (7917)
- Notice sur les freins continus automatiques à air comprimé

- (système Wenger), appliqués au matériel de la compagnie d'Orléans. In-8°, 32 pages avec fig. (8709)
- ROY (E.). — Matériel flottant des voies de navigation intérieure. In-8°, 40 p. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils*.) (9689)
- SÉRAFON (F.). — Les chemins de fer métropolitains et les moyens de transport en commun à Londres, New-York, Berlin, Vienne et Paris. In-8°, 127 pages, avec 3 planches et 5 figures. (7444)
- SIMONIN (L.). — Le Canal de Panama au point de vue commercial, technique et financier. In-8°, 16 p. (41650)
- THÉRY (J.-A.). — Le Métropolitain parisien à lignes continues, projet J.-A. Théry. In-4°, 34 pages. (41658)
- VERON-DUVERGER. — De l'organisation des travaux publics en Belgique et en Hollande. Grand in-4°, 431 p. (7973)
- WAZON (A.). — Chauffage et Ventilation des édifices publics et privés; Chauffage des serres; précédé d'une étude pratique sur les combustibles. In-8°, 242 p., avec 51 fig. et 7 pl. 8 fr. (10152)
- 6^e Sujets divers.
- Annuaire des mines, de la métallurgie et de la construction mécanique, fondé par Ch. Jeanson, continué par M. Adolphe Salles, ingénieur civil des mines. Édition 1885-1886. In-8° à 2 col., 648 p. et annonces. (Par souscription, 8 fr.; après la publication, 10 fr.) (10679)
- Édition 1884-1885 (8^e année), complètement refondue et augmentée. In-8°, 746 p. 9 fr. (41677)
- Répertoire spécial d'adresses. Guide spécial du constructeur mécanicien. Édition 1884 (7^e année). In-8°, xvi-572 p. 9 fr. (41678)
- BARBE. — L'Emploi des engrais chimiques. In-18, 48 p. (9468)
- BATBIE (A.). — Traité théorique et pratique de droit public et administratif, contenant l'examen de la doctrine et de la jurisprudence, la comparaison de notre législation avec les principales lois politiques et administratives de l'Angleterre, des États-Unis, de la Belgique, de la Hollande, etc. 2^e édition, remaniée et mise au courant de la législation et de la jurisprudence. T. 8. In-8°, vii-637 p. (L'ouvrage complet, 72 fr.) (41482)
- BORNECQUE (J.). — La photographie appliquée au lever des plans. In-18 jésus, 47 pages. (41490)
- CAEN (A.) et L. LYON-CAEN. — De la convention internationale

- pour la protection de la propriété industrielle conclue à Paris entre divers États, le 20 mars 1883, et des modifications urgentes à apporter à la loi du 5 juillet 1844, ainsi qu'à diverses pratiques administratives en matière de brevets d'invention. Grand in-8°, 56 p. (14127)
- Cartes commerciales indiquant les productions industrielles et agricoles, les centres commerciaux, le chiffre de la population, les chemins de fer, les routes, etc., avec texte complémentaire explicatif sur le dénombrement, les mœurs et les coutumes des populations, les statistiques commerciales, etc., publiées par la librairie Chaix, sous la direction de F. Bianconi, ancien ingénieur-architecte en chef des chemins de fer ottomans. Royaume de Serbie. In-4° à 2 col., 41 p. et carte (Chaque carte avec texte, 4 fr.; pour les souscripteurs à une série entière, 3 fr. par carte.) (8310)
- BÉGUVER DE CHANCOURTOIS (A.-E.). — Programme raisonné d'un système de géographie fondé sur l'usage des mesures décimales, d'un méridien 0^{grade} international et des projections stéréographiques et gnomoniques, étudié en vue de l'unification des travaux géographiques et géologiques et du développement complet de la systématisation décimale des mesures. In-8°, LVI-74 pages et pl. 2^f, 50. (9051)
- GIBON (A.). — Le Patrimoine de l'ouvrier. In-8°, 31 p. 1^f, 50. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'économie sociale.*) (11025)
- GINOUX (C.). — Orfèvrerie, serrurerie et fonderie d'art à Toulon aux XVII^e et XVIII^e siècles, mémoire lu à la Sorbonne, le 8 août 1885. In-8°, 16 pages. (10558)
- HUBERT-VALLEROUX (P.). — Les Corporations d'arts et métiers et les Syndicats professionnels en France et à l'étranger. In 8°, XXI-423 p. 7^f, 50. (10767)
- JONVEAUX (E.). — Histoire de quatre ouvriers anglais : Henry Maudslay, George Stephenson, William Fairbairn, James Nasmyth; par Emile Jonveaux, d'après Samuel Smiles. Précédé d'une introduction sur l'industrie du fer. 5^e édition. In-18 Jésus, VII-229 p. 1^f, 25. (10775)
- MAZOCCHI (L.). — Mémorial technique universel. Recueil de tables et de formules à l'usage des ingénieurs, architectes, mécaniciens, industriels, entrepreneurs, conducteurs de travaux, agents-voyers, arpenteurs, etc. Avec 200 figures et un petit dictionnaire technologique français-italien-allemand-anglais. Carnet de 421 pages.
- LABOULAYE (C.). — Dictionnaire des arts et manufactures et de

- l'agriculture. 6^e édition. 4 vol. In-4° à 2 col. avec fig. T. 1, A-D 1090 p.; t. 2, E-M, 1004 p.; t. 3, N-Z, 1236 p.; t. 4, complément, 4100 p. 100 fr. (L'ouvrage est publié en 44 livraisons à 2^f, 30 chacune et illustrées de 5000 figures.) (11580)
- LAMI (E. O.). — Dictionnaire encyclopédique et biographique de l'industrie et des arts industriels. *Édition* illustrée de 2,500 grav. environ. T. 2, grand in-8° à 2 col., 944 p.; t. 3, 4198 p.; t. 4, 1087 p.; t. 5, 984 p. (6645)
- LAPLAICHE (A.). — Cours de topographie à l'usage des officiers et sous-officiers de toutes armes (armée active, réserve, armée territoriale), ouvrage rédigé conformément aux programmes officiels du 30 septembre 1884. T. 2. 5^e édition. In-32, 127 p. avec figures. (11060)
- LARBALETRIER (A.). — Les Engrais chimiques et les matières fertilisantes d'origine minérale. Emploi pratique des engrais chimiques. In-18, 36 p. 0^f, 50. (8914)
- Les Engrais organiques et le fumier de ferme. In-18, 36 p. 0^f, 50. (8915)
- LEJEUNE (E.). — Guide du briquetier, du fabricant de tuiles, carreaux, tuyaux et autres produits en terre cuite. 2^e édition. Grand in-16, VIII-422 p. avec 219 figures. 8 fr. (12042)
- Guide du chauxfournier, du fabricant de ciment, bétons et mortiers hydrauliques. 2^e édition. Grand in-16, 324 p. avec 56 fig. 4 fr. (12043)
- LEVASSEUR (E.). — La Statistique officielle en France : organisation, travaux et publications des services de statistique des différents ministères; précédé d'un aperçu historique. In-8°, 63 p. (Extr. du *Journal de la Société de statistique de Paris.*) (8155)
- LYON (G.). — Visite faite à l'usine Pleyel, Wolff et C^e, à St-Denis, par un groupe d'ingénieurs et les élèves de l'École supérieure des mines. In-8°, 44 p. (Extr. du *Bulletin de l'Assoc. amicale des élèves de l'École sup. des mines.*) (8929)
- MOËSSARD (P.). — Appareil photographique panoramique; le Cylindrographe. In-16, 43 p. avec fig. (10805)
- Projet (Le) de création en Algérie et en Tunisie d'une mer dite intérieure, devant le congrès de Blois. In-8°, 44 p. (Extr. du compte rendu de la 13^e session de l'*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences*, tenue à Blois en 1884.) (6185)
- TELLIEZ (R.). — Principes élémentaires d'économie politique, à l'usage de l'enseignement spécial des lycées et collèges et des

- cours spéciaux de l'enseignement primaire. 4^e édition. In-12, 133 p. (10647)
- THIÉRY (E.). — Notice sur les instruments stadimétriques. In-8°, VII-197 p. avec figures. (7076)
- TROUVELOT (E.-L.). — L'Étoile nouvellement allumée dans la grande nébuleuse d'Andromède. Grand in-8°, 7 p. (Extr. de la *Revue d'astronomie.*) (12118)
- URBANITZKY (A. d'). — Les Lampes électriques et leurs accessoires. Traduction et appendice par G. Fournier, ingénieur-électricien. In-16, XVI-216 p. avec 96 figures. (6473)
- VIDALIN (F.). — Terrains granitiques : Agriculture du centre de la France. T. 1. Les Agents naturels de la végétation, le Sol et les Engrais, les Champs, les Prés, les Bois. In-18 Jésus, 304 pages. (8478)

OUVRAGES ANGLAIS.

- BURGH. *The indicator diagram...* Le diagramme de l'indicateur considéré pratiquement. 6^e édition. In-8°, 184 p. 8^f,15.
- *The slide valve...* Le tiroir de distribution considéré pratiquement. 12^e édition. In-8°, 140 p. 6^f,25.
- TRAILL. *Chain cables...* Câbles-chaînes et chaînes; dimensions et courbures des anneaux, clous, etc.; fer pour câbles et chaînes, câbles-chaînes, fabrication des chaînes, etc., etc. In-fol., avec nombreux dessins et illustrations. 52^f,50.
- Memoirs of the Geological Survey. The geology...* Géologie de la région autour d'Ipswich, Hadleigh et Felixstow; explication de la feuille 48 N.-W. et N.-E.; par W. Whitaker; avec notes par W. H. Dalton et T. J. Bennett. In-8°. 2^f,50.
- *Explanatory memoir...* Mémoire explicatif pour accompagner la feuille 33 de la carte géologique d'Irlande, comprenant le district autour d'Omagh, Fintona et Irvinestown; par S. B. Wilkinson et J. R. Kilroe; notes paléontologiques par W. H. Baily. In-8°. 1^f,25.
- *The geology...* Géologie de la partie sud-ouest du Lincolnshire, avec parties du Leicestershire et du Nottinghamshire; explication de la feuille 70; par A. J. Jukes-Browne; parties par W. H. Dalton. In-8°. 5 fr.
- *Geology...* Géologie de Holderness, avec les parties adja-

- centes du Yorkshire et du Lincolnshire; par Clement Reid. In-8°. 5 fr.
- *The geology...* Géologie des côtes attenantes à Rhyl, Abergeles et Colwyn; explication du quart de feuille 79 N.-W.; par Aubrey Strahan; avec notes par R. H. Tiddeman. In-8°. 4^f,90.
- Parliamentary. Explosions...* Explosion à la houillère de Great Fenton, 8 avril. Rapport. 0^f,75.
- —... Explosion à la houillère de Newbottle, 24 juin. Rapport. 1^f,25.
- —... Explosion à la houillère d'Apedale, 20 juin. Rapport. 1^f,25.
- —... Explosion à la houillère d'Usworth, 2 mars. 1^f,70.
- —... Explosion à la mine de Trencherbone, houillère de Clifton Hall, 18 juin. Rapport. 2^f,50.
- *Mines. Inspector's...* Rapports des inspecteurs des mines pour 1884. 9^f,40.
- *Mines and mineral...* Mines et statistique minérale pour 1884. 2^f,65.
- *Railway returns...* Rapports sur les chemins de fer pour 1884. 1^f,50.
- —... *Continuous brakes...* Chemins de fer; freins continus. Rapports, janvier et juin. 1^f,25.
- CARLL. *A treatise...* Traité du calcul des variations. In-8°, 582 p. 26^f,25.
- JOHNSON. *Curve tracing...* Tracé des courbes en coordonnées cartésiennes. In-8°, 86 p. 5^f,65.
- MC CLELLAND and PRESTON. *A treatise...* Traité de trigonométrie sphérique. Part. I. In-8°, 172 p. 5^f,65.
- MERRIMAN. *A text-book...* Traité de la méthode des moindres carrés. In-8°, 194 p. 10^f,65.
- SEMPLO. *Aids to chemistry...* Guide de chimie. Part. I. Inorganique, éléments non métalliques. Nouvelle édition. In-12, 72 p. 1^f,25.
- STOKES. *On light...* Sur la lumière; 2^e leçon : sur la lumière comme moyen de recherche. In-8°, 114 p. 3^f,15.
- WATSON and BURBURY. *Mathematical theory...* Théorie mathématique de l'électricité et du magnétisme. Vol. I. Electrostatique. In-8°, 274 p. 13^f,15.
- WILLS. *A manual...* Manuel d'analyse pratique. 8^e édition. In-8°, 130 p. 3^f,15.
- LEVANDER. *Solutions...* Solutions des questions de magnétisme et

- d'électricité posées aux examens scientifiques intermédiaires et préliminaires de l'Université de Londres, de 1860 à 1884. 2^e édition, corrigée et augmentée. In-12, 126 p. 3^f,15.
- LIVEING. *Chemical equilibrium...* Equilibre chimique, résultat de la dissipation de l'énergie. In-8°, 106 p. 3^f,15.
- CARNELLEY. *Melting...* Tables des points de fusion et d'ébullition. Vol. I. In-4°. 52^f,50.
- DAWSON. *The chain of life...* La chaîne de la vie dans les temps géologiques : esquisse de l'origine et de la succession des animaux et des plantes. 2^e édition, revue. In-8°. 8^f,15.
- MUNRO and JAMIESON. *A pocket-book...* Manuel des lois électriques et tables, à l'usage des électriciens et des ingénieurs. 3^e édition, revue. 500 p. 9^f,40.
- PHILLIPS. *Manual...* Manuel de géologie théorique et pratique; édité par Rob. Etheridge et Harry Govier Seely. Part. 2: Géologie stratigraphique et paléontologie; avec cartes, tableaux et planches. In-8°, 734 p. 41^f,50.
- REMSEN. *An introduction...* Introduction à l'étude des composés du carbone; chimie organique. In-8°. 374 p. 8^f,15.
- STORMONT. *A manual...* Manuel des termes scientifiques. 2^e édition. In-8°, 482 p. 9^f, 40.
- GOODEVE. *Text-book...* Traité de la machine à vapeur. 7^e édition. In-8°, 304 p. 7^f,50.
- SENNETT. *Marine steam...* Machines à vapeur marines. 2^e édition. In-8°, 906 p. 26^f,25.
- ANGEL. *Practical plane...* Géométrie pratique, plane et solide, comprenant l'arithmétique graphique. Nouvelle édition, augmentée. In-12, 208 p. 1^f,90.
- FORSYTH. *A treatise...* Traité des équations différentielles. In-8°, 424 p. 17^f,50.
- GRAHAM. *Algebraic factors...* Facteurs algébriques. 2^e édition, revue. In-12, 94 p. 3^f,15.
- BARLOW. *New theories...* Nouvelles théories de la matière et de la force. In-8°, 404 p. 15 fr.
- GLYNN. *Rudimentary treatise...* Traité élémentaire de la puissance de l'eau. Nouvelle édition. In-12, 166 p. 2^f,50.
- RAMSAY. *Rudiments...* Éléments de minéralogie. 1^{re} édition, revue et augmentée. In-12, 360 p. 4^f,40.
- RIPPER. *Practical chemistry...* Chimie pratique avec notes et questions sur la chimie théorique. 2^e édition, revue et augmentée. In-8°, 146 p. 2^f,50.
- SMYTH (WARINGTON W.). *Rudimentary treatise...* Traité élémen-

- taire de la houille et de son exploitation. 6^e édition, revue et augmentée. In-12, 262 p. 4^f,40.
- WOODWARD. *Arithmetical physics...* Physique arithmétique. Part. 2: Magnétisme et électricité. In-12, 110 p. 3^f,75.
- *Arithmetical chemistry...* Chimie arithmétique ou exercices arithmétiques pour les étudiants en chimie. Part. 1. 2^e édition. In-12, 58 p. 1^f,25.
- CROWTHER. *Text-book...* Traité de la construction et du dessin des machines. Part. 1. In-fol. 1^f,90.
- JACKSON. *Statistics...* Statistique des travaux hydrauliques et de l'hydrologie de l'Angleterre, du Canada, de l'Égypte et de l'Inde. In-8°, 540 p. 39^f,40.
- REYNOLDS. *Locomotive engine...* Conduite des machines locomotives. 7^e édition, 270 p. In-8°. 5^f,65. In-12. 4^f,40.
- *Stationary engine...* Conduite des machines fixes. 3^e édition, revue et augmentée. 296 p. In-8°. 5^f,65. In-12: 4^f,40.
- STONE. *The strength...* Résistance et proportions des joints rivés. In-8°, 86 p. 6^f,25.
- CASEY. *A treatise...* Traité de géométrie analytique du point, de la ligne, du cercle et des sections coniques. In-8°, 340 p. 9^f,40.
- DODGSON. *Euclid...* Euclide et ses rivaux modernes. In-8°, 298 p. 7^f,50.
- MILLAR. *Introduction...* Introduction au calcul différentiel et intégral. In-12, 64 p. 1^f,90.
- ROLL. *Discussions...* Discussions sur le climat et la cosmologie. In-8°, 232 p. 13^f,15.
- COLYER. *A treatise...* Traité des machines et chaudières à vapeur modernes. In-4°, avec 46 planches. 31^f,25.
- EAGLES. *Constructive...* Géométrie constructive des courbes planes. In-8°, 390 p. 15 fr.
- GREENHILL. *Differential...* Calcul différentiel et intégral. In-8°, 276 p. 9^f,40.
- ATTFIELD. *Chemistry...* Chimie, générale, médicale et pharmaceutique. 11^e édition. In-8°, 894 p. 18^f,75.
- CROOKES. *Select methods...* Méthodes choisies d'analyse chimique. 2^e édition, refondue et considérablement augmentée. In-8°, 750 p., avec 37 fig. 30 fr.
- MUIR and WILSON. *The elements...* Éléments de chimie thermique. In-8°, 322 p. 15^f,65.
- OVEREND. *Elementary...* Expériences élémentaires de magnétisme et d'électricité. 3^e édition. In-12, 84 p. 1^f,25.

- ROSCOE. *Spectrum analysis*. Analyse spectrale. 4^e édition, revue et considérablement augmentée, par l'auteur et par Arthur Schuster, avec appendices, planches colorées et figures. In-8°, 460 p. 26^f,25.
- THOMPSON. *Dynamo-electric manual*... Manuel d'électrodynamique, pour les étudiants d'électrotechnique. 2^e édition, augmentée et revue. In-8°, 540 p. 15^f,65.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

- MOTT. *The fallacy*... L'inexactitude de la théorie actuelle du son. In-16, viii-103 p. New-York. 6^f,25.
- LEET. *Petroleum distillation*... Distillation du pétrole et modes d'essai des hydrocarbures. In-8°, 414 p. New-York. 15 fr.
- JOHNSON. *A manual*... Manuel de la théorie et de la pratique du levé des plans topographiques. In-8°, x-113 p. New-York. 8^f,15.
- PAINE. *The elements*... Éléments des chemins de fer. In-16, 460 p. New-York. 6^f,25.
- WOLFF. *The windmill*... Le moulin à vent comme premier moteur. In-8°, xiii-159 p. New-York. 18^f,75.
- WOOD. *Trigonometry*... Trigonométrie analytique, plane et sphérique; avec tables logarithmiques. In-8°, viii-237 p. New-York. 9^f,40.
- COPE. *The Vertebrata*... Les vertébrés des formations tertiaires de l'Ouest. Livre 1. In-4°, xxxiv-1009 p. Washington.
- LANGLEY. *Researches*... Recherches sur la chaleur solaire et son absorption par l'atmosphère terrestre; avec cartes, planches et dessins. In-4°, 242 p. Washington.
- LESQUEREUX. *Contributions*... Contributions à la flore fossile des territoires de l'Ouest. Partie 3: Flores crétacée et tertiaire; avec 60 planches. In-4°, xii-283 p. Washington.
- United States Geological Survey. Bull. n° 2. Gold and silver*... Tables de conversion de l'or et de l'argent. In-8°, 8 p. Washington. 0^f,25.
- *Bull. n° 3. On the fossil faunas*... Sur les faunes fossiles du dévonien supérieur le long du méridien de 76°30', du comté de Tompkins N. Y. au comté de Bradford, Pa. In-8°, 36 p. Washington. 0^f,25.
- *Bull. n° 4. On mesozoic*... Sur des fossiles mésozoïques. In-8°, 37 p. Washington. 0^f,25.
- *Bull. n° 5. A dictionary*... Dictionnaire des altitudes aux États-Unis. In-8°, 325 p. Washington. 1 fr.
- *Bull. n° 6. Elevations*... Élévations dans le Dominion du Canada. In-8°, 42 p. Washington. 0^f,25.
- *Monograph. Vol. IV. Comstock mining*... Mines et mineurs du Comstock, par Eliot Lord. Cartes. In-4°. Washington.
- *Monograph. Vol. VI. Contributions*... Contributions à la connaissance de la flore mésozoïque ancienne de Virginie; par W. M. Fontaine. Illustr. In-4°. Washington.
- POWELL. *Fourth annual*... Quatrième rapport annuel du Geological Survey des États-Unis au Secrétaire de l'Intérieur: 1882-83. In-8°, xxxii-473 p. Washington.
- MERRIMAN. *A text-book*... Traité de la mécanique des matériaux. In-8°, vii-152 p. New-York. 12^f,50.
- THURSTON. *A treatise*... Traité du frottement et de la perte de force dans les machines et les moulins. In-8°, xi-365 p. New-York. 18^f,75.
- *A text-book*... Traité des matériaux de construction. Illustr. In-8°, xviii-697 p. New-York. 31^f,25.
- MARSH. *Dinocerata*... Les Dinoceras, monographie d'un ordre éteint de mammifères gigantesques, avec 56 pl. et 200 fig. In-4°, xviii-237 p. Washington. 157^f,50.
- BENDER. *Principles of economy*... Principes d'économie dans les projets des ponts métalliques, avec planches. In-8°, 195 p. New-York. 15^f,65.
- GRIMSHAW. *The steam engine*... Catéchisme de la machine à vapeur. In-18, 149 p. New-York. 6^f,25.
- SMITH. *A manual*... Manuel du dessin topographique; revu et augmenté par C. Mc Millan. Illustr. In-8°, xi-112 p. New-York. 18^f,75.
- DOOLITTLE. *Treadise*... Traité d'astronomie pratique appliquée à la géodésie et la navigation. Avec fig. In-8°, x-642 p. New-York. 25 fr.
- OLDBERG. *A manual*... Manuel des poids, mesures et pesanteur spécifique. In-12, 250 p. Chicago. 11^f,25.
- TROÏLIUS. *Notes on the chemistry*... Notes sur la chimie du fer. In-8°, v-97 p. New-York. 12^f,50.
- EMMONS and BECKER. *Statistics*... Statistique et technologie des métaux précieux; préparé sous la direction de Clarence King. 10^e Census. In-4°, xii-541 p. Washington. 37^f,50.

- ERNI. *Mineralogy...* Minéralogie simplifiée; méthodes faciles pour déterminer les minéraux et minerais. 2^e édition, revue et augmentée. In-8°, 395 p. avec fig. Philadelphie. 18^e, 75.
- HADLEY. *Railroad transportation...* Les transports par chemins de fer, leur histoire et leurs lois. In-12, v-269 p. New-York. 9^e, 40.
- OUVRAGES ALLEMANDS.**
- CZYRNIANSKI. *Chemisch-physiche Theorie...* Théorie chimico-physique, déduite de l'attraction et de la rotation de l'atome primordial. Cracovie. In-8°, 48 p. 1^e, 50.
- K. FEISTMANTEL. *Ueber Araucaroxyton...* Sur un Araucaroxyton de la formation houillère de la Bohême moyenne. Prague. In-4°, 24 p., et 2 pl. 1^e, 25.
- GOTTSCH. *Die Sedimentär-Geschiebe...* Les galets sédimentaires de la province de Schleswig-Holstein. Tokio. In-8°, v-66 p., av. 2 cartes. 5 fr.
- KIESLING. *Die Dämmerungserscheinungen...* Les phénomènes du crépuscule en 1883 et leur explication physique. Hambourg. In-8°, 53 p., av. 5 fig. 1^e, 25.
- KOPPE. *Die Ausgleichungsrechnung...* Le calcul de compensation d'après la méthode des moindres carrés en géométrie pratique. Nordhausen. In-8°, VIII-222 p. 7^e, 50.
- KRAFT. *Sammlung...* Collection de problèmes de mécanique analytique. Livraisons 5 à 11 (fin). Stuttgart, T. I, VIII p. et p. 481-650; T. II, VII p. et p. 1-656 avec fig. Chaque livraison 2^e, 50.
- MAILLARD. *Invertébrés du Purbeckien du Jura.* Genève. In-4°, 159 p., avec 3 pl. et 1 carte. 13^e, 75.
- MARTINI und CHEMITZ. *Systematisches Conchylien-cabinet.* Collection systématique de coquilles. Publié et complété par H. C. Küster en collaboration avec Philippi. L. Pfeiffer, Dunker, etc.; continué après sa mort par W. Kobelt et H. C. Weinkauff. Nüremberg. In-4°. Livraison 333; 77 p., av. 3 pl. 11^e, 25.
- QUENSTEDT. *Die Ammoniten...* Les ammonites du jurassique de la Souabe. Fasc. 4 à 7. Stuttgart. In-8°, p. 145-336, av. un atlas de 24 pl. 50 fr.

- SCHNEPPENDAHL. *Die Bewegung...* Le mouvement de la chaleur. Hagen. In-12, iv-94 p. 1^e, 25.
- SIMONEY. *Ueber zwei...* Sur deux généralisations universelles des opérations fondamentales de l'algèbre. Vienne. In-8°, 100 p. 2 fr.
- SOHNCKE. *Der Ursprung...* L'origine de l'électricité des orages et de l'électricité habituelle de l'atmosphère; étude météorologico-physique. Iéna. In-8°, v-74 p. 1^e, 90.
- WEINNOLDT. *Ueber Funktionen...* Sur des fonctions qui satisfont à certaines équations différentielles d'ordre n . Kiel. In-4°, 44 p. 3 fr.
- WEISS. *Entwickelungen...* Développement sur le théorème de réversion de Lagrange et son emploi à la résolution de l'équation de Képler. Vienne. In-4°, 38 p. 2^e, 50.
- V. WROBLEWSKI. *Ueber den Gebrauch...* Sur l'emploi de l'oxygène, de l'oxyde de carbone bouillant, ainsi que de l'air atmosphérique, comme réfrigérant. Vienne. In-8°, 45 p. av. 1 pl. 1^e, 50.
- FORSTER. *Studien...* Études sur l'histoire du développement du système solaire. Stuttgart. In-8°, VII-60 p. 3^e, 25.
- Palæontologische...* Mémoires paléontologiques, publiés par W. Dames et E. Kayser. Berlin. In-4°. T. II, fasc. 5. 25 fr. — T. III, fasc. 2. 16^e, 25.
- GEPPERT. *Die Gasanalyse...* L'analyse des gaz et son emploi physiologique d'après des méthodes perfectionnées. Berlin. In-8°, v-129-4 p., av. 1 pl. et 13 fig. 5 fr.
- POSEWITZ. *Die Zinninseln...* Les îles à étain dans l'Océan Indien. I. Géologie de Bornéo, avec append. sur la présence du diamant à Bornéo. Bude-Pesth. In-8°, 40 p. av. 2 pl. 2^e, 50.
- STOLZ. *Vorlesungen...* Leçons sur l'arithmétique générale. Part. 1: Généralités et arithmétique des nombres réels. Leipzig. In-8°, vi-344 p. 10 fr.
- TSCHERMAK. *Die microscopische...* La constitution microscopique des météorites, exposée sur des figures photographiques. Stuttgart. Livr. 2 et 3. In-4°, III p. et p. 13-24, av. 9 pl. (fin). 42^e, 50.
- VOGLER. *Lehrbuch...* Traité de géométrie pratique. 1^{re} partie. Brunswick. In-8°, XVII-688 p. av. 248 fig. et 10 pl. 20 fr.
- WIENER. *Rein geometrische...* Théorie purement géométrique de l'exposition des formes binaires par des groupes de points sur des droites. Darmstadt. In-8°, iv-83 p. 3^e, 15.
- ZITTEL. *Handbuch...* Manuel de paléontologie, publié avec le

- concours de A. Schenk et de S. H. Scudder. T. I, liv. 8. Munich. 2^{me} partie, p. 523-722, av. 178 fig. 10 fr.
- CZERMAK und HIECKE. *Pendelversuche*. Recherches sur le pendule. Vienne. In-8°, 11 p. avec 6 pl. 3 fr.
- V. EBNER. *Die Lösungsflächen...* Les faces de clivage de la calcite et de l'aragonite. II. Les figures de corrosion de la calcite. III. Les faces de clivage de l'aragonite. Vienne. In-8°, 76 p. av. 6 pl. 5 fr.
- V. ETTINGSHAUSEN. *Die fossile Flora...* La flore fossile de Sagor en Carinthie. 3^{me} et dernière partie. Vienne. In-4°, 56 p. av. 5 pl. 6 fr.
- GEGENBAUER. *Asymptotische Gesetze...* Lois asymptotiques de la théorie des nombres. Vienne. In-4°, 44 p., 3 fr.
- HENSEL. *Arithmetische Untersuchungen...* Recherches arithmétiques sur les discriminants et sur leurs diviseurs accidentels. Berlin. In-4°, 30 p. 1^{er}, 90.
- KLEIN. *Ueber die elliptischen...* Sur les courbes elliptiques normales de $n^{\text{ème}}$ ordre et les fonctions modules de $n^{\text{ème}}$ degré qui s'y rapportent. Leipzig. In-8°, 64 p. 2^{es}, 25.
- KLEMENCIC. *Experimentaluntersuchung...* Recherches expérimentales sur les constantes diélectriques de quelques gaz et vapeurs. Vienne. In-8°, 48 p. av. 1 pl. 1^{er}, 50.
- MAHLER. *Die centralen...* Les éclipses centrales de soleil du XX^e siècle. Vienne. In-4°, 40 p., 2^{es}, 50.
- MARES. *Beobachtungen...* Observations sur la séparation du sulfindigotate de soude. Vienne. In-8°, 14 p., av. 2 pl. 1^{er}, 90.
- NEUMAYR. *Die geographische...* L'extension géographique de la formation jurassique. Vienne. In-4°, 88 p., av. 2 cartes et 1 pl. 3 fr.
- SANDBERGER. *Untersuchungen...* Recherches sur les filons métallifères. Fasc. 2. Wiesbaden. In-8°, III p. et p. 159-431, av. 4 pl. 12^{es}, 50.
- SCHÖEDLER. *Kurzer Abriss...* Petite esquisse de la chimie des hydrocarbures. Leipzig. In-8°, 202 p. 6^{es}, 25.
- SICKENBERGER. *Die Determinanten...* Les déterminants traités génétiquement. Munich. In-8°, IV-80 p. 1^{er}, 50.
- BIECHELE. *Die chemische Gleichungen...* Les équations chimiques des principaux éléments inorganiques et organiques. Eichstätt. In-8°. 1^{re} moitié, IV-400 p. 17^{es}, 25.
- BREDICHIN. Revision des valeurs numériques de la force répulsive. Moscou. In-8°, 36 p. 1^{er}, 50.
- GEGENBAUER. *Zur Theorie...* Contribution à la théorie des nom-

- bres complexes formées des racines quatrièmes de l'unité. Vienne. In-4°, 32 p. 2^{es}, 15.
- HAUSHOFER. *Mikroskopische Reactionen...* Réactions microscopiques; guide pour la reconnaissance des différents éléments et combinaisons sous le microscope, comme supplément aux méthodes d'analyse qualitative. Brunswick. In-8°, VII-162 p., av. 137 fig. 5^{es}, 65.
- JORDAN. *Grundzüge...* Principes de la détermination astronomique du temps et du lieu. Berlin. In-8°, VII-390 p. av. fig. 12^{es}, 50.
- RÖTTGER. *Das Wetter...* Le temps et la terre. Léna, In-8°, VI-602 p. av. fig. 16^{es}, 90.
- STRASSER. *Ueber den Flug...* Sur le vol des oiseaux; contribution à l'étude mécanique et biologique du problème de la locomotion active. Léna. In-8°, 263 p. av. fig. 8^{es}, 75.
- WIEDERMANN. *Die Grundlehren...* Les principes de l'électricité et leurs principales applications. Fribourg-en-Brisgau. In-8°, XX-502 p. av. 263 fig. 8^{es}, 75.
- BREZINA. *Die Meteoritensammlung...* La collection de météorites du cabinet I. R. minéralogique de la Cour à Vienne, au 1^{er} mai 1885. Vienne. In-8°, VI-126 p. av. 4 pl. 11^{es}, 25.
- FINGER. *Elemente...* Éléments de mécanique pure. Livraisons 3 à 5. Vienne. In-8°, p. 513-640 av. fig. 4 fr.
- GEINITZ-ROSTOCK. *VII. Beitrag...* Contribution à la géologie du Mecklembourg. Güstrow. In-8°, 80 p. av. 1 pl. double. 2^{es}, 50.
- KALKOWSKI. *Elemente...* Éléments de lithologie. Heidelberg. In-8°, VIII-316 p. 10 fr.
- KETTLER. *Theoretische Optik...* Optique théorique, fondée sur le principe de Bessel-Sellmeier. Brunswick. In-8°, XII-652 p. av. 44 fig. et 4 pl. 17^{es}, 50.
- KILLING. *Die nicht Euklidischen...* Les formes de l'espace non euclidiennes traitées analytiquement. Leipzig. In-8°, XI-264 p. av. 1 pl. 8^{es}, 50.
- MILNE. Appendix to recherches sur les tremblements de terre au Japon. Berlin. In-8°, 24 p. 1^{er}, 25.
- BEUSCHLE. *Graphisch-mechanisches...* Appareil graphique mécanique pour la résolution des équations numériques. Stuttgart. In-4°, 10 p. av. 1 pl. in-fol. 3^{es}, 50.
- SPITALER. *Die Wärmevertheilung...* La distribution de la chaleur à la surface du globe. Vienne. In-4°, 20 p. av. 1 tableau. 1^{er}, 75.
- UNTERWEGER. *Beiträge...* Contributions à l'explication des phé-

- nomènes cosmico-terrestres. Vienne. In-4°, 40 p. av. 2 pl. et 3 fig. 4^f,25.
- VELENOVSKY. *Die Gymnospernen...* Les Gymnospermes de la formation crétacée de la Bohême. Prague. In-4°, v-34 p. av. 13 pl. 40 fr.
- BRUDER. *Die Fauna...* La faune des dépôts jurassiques de Hohnstein en Saxe. Vienne. In-4°, 51 p. av. 1 tableau, 5 pl. et 1 fig. 6^f,25.
- GATTERMANN. *Ueber einige...* Sur quelques dérivés de la m-nitro-p-toluidine. Göttingen. In-8°, 43 p. 1^f,50.
- GORDAN. *Vorlesungen...* Leçons sur la théorie des invariants; publiées par G. Kerchensteiner. T. I : Déterminants. Leipzig. In-8°, xi-201 p. 8 fr.
- Handwörterbuch der Chemie...* Dictionnaire de chimie; publié par Ladenburg, avec le concours de Berend, Biedermann, Drechsel, etc. T. III. Breslau. In-8°, 653 p. av. fig. 20 fr.
- J. HEER. *Oswald Heer...* Biographie d'Oswald Heer; publiée avec le concours de K. Schröter. Zurich. In-8°, vii-144 p. 3^f,50.
- HIMSTEDT. *Eine Bestimmung...* Une détermination du ohm. Fribourg-en-Brigau. In-8°, 29 p. av. fig. 2 fr.
- ONOWSKI. *Jaskinie okolic...* Les grottes de d'Ojtzowo au point de vue paléontologique. Cracovie. In-4°, 49 p. av. 8 pl. 10 fr.
- RÜHLMANN. *Handbuch...* Manuel de la théorie mécanique de la chaleur. T. II, livraison 3. Brunswick. In-8°, xviii p. et p. 609-1001 avec fig. 12^f,50.
- SCHOTTKY. *Beiträge...* Contributions à la connaissance des dépôts diluviens de la vallée de Hirschberg. Breslau. In-8°, 71 p. av. 1 carte. 3 fr.
- SERVUS. *Die Geschichte...* Histoire du télescope jusqu'à nos jours. Berlin. In-8°, vii-133 p. 3^f,25.
- SPRUNG. *Lehrbuch...* Traité de météorologie. Hambourg. In-8°, xii-407 p. av. 88 fig. et 17 pl. 12^f,50.
- STUDNICKA. *Bericht über...* Rapport sur les publications de mathématiques et de science naturelle de la Société royale des sciences de Bohême pendant ses cent années d'existence; contribution à l'histoire des mathématiques et des sciences naturelles. Fasc. 2. Prague. In-8°, iv p. et p. 125-351, av. fig. 3^f,75.
- SCHRÖCKENSTEIN. *Ausflüge...* Excursion dans le champ de la géologie; étude géologico-chimique du groupe minéral des silicates. Vienne. In-8°, 116 p.
- THOMSEN. *Thermochemische...* Recherches thermo-chimiques.

- T. IV. Combinaisons organiques. Leipzig. In-8°, 429 p. av. 1 pl. 15 fr.
- WEIERSTRASS... *Formeln*. Formules et propositions pour l'emploi des fonctions elliptiques; rédigé et publié d'après ses leçons et ses notes, par H. A. Schwarz. Fasc. 2. Göttingen. In-4°, p. 81-96. 1^f,50.
- DIETRICH. *Die Baumaterialien...* Les matériaux des routes empierrées. Berlin. In-8°, viii-289 p. 20 fr.
- DÜRRE. *Die Anlage...* Établissement et exploitation des usines à fer. Livraison 23. Leipzig. In-4°. T. III, p. 1 à 32, av. 5 pl. 7^f,50.
- HOLLENBERG. *Die neueren Windräder...* Les nouvelles roues à vent, dites moulins à vent américains, spécialement du système Halladay. Leipzig. In-8°, iv-79 p., av. 6 pl. et 56 fig. 5 fr.
- GÜPTNER v. JONSTORFF. *Praktisches Handbuch...* Manuel pratique pour les chimistes des usines à fer. Vienne. In-8°, xii-324 p., av. 2 pl. et 75 fig. 9 fr.
- KITTLER. *Handbuch...* Manuel d'électrotechnique. T. I, 1^{re} moitié. Stuttgart. In-8°, 296 p. av. 274 fig. 11^f,25 (Paraîtra en 2 volumes).
- V. RETTICH. *Die Luft...* L'air comme moyen de compensation du poids des câbles dans les machines d'extraction. Vienne. In-8°, vii-124 p., av. 3 pl. 3^f,75.
- MIERZINSKI. *Die Fabrikation...* La fabrication de l'aluminium et des métaux alcalins. Vienne. In-8°, viii-112 p., av. 27 fig. 2^f,50.
- MOEDEBECK. *Die Luftschiffahrt...* La navigation aérienne au point de vue spécial de ses applications militaires. Livraison 1. Leipzig. In-8°, 64 p. av. fig. 2^f,50 (Paraîtra en 6 livraisons).
- SCHLOSSER und ERNST. *Verfahren...* Procédés et appareils pour l'extraction des poussières dans les carneaux et les chambres de condensation des usines, fabriques, chaudières à vapeur, etc. Hanovre. In-8°, 8 p. av. 1 pl. 1^f,55.
- BALLING. *Die Metallhüttenkunde*. La métallurgie. Berlin. In-8°, xx-627 p. 20 fr.
- BECKER. *Leitfaden...* Guide pour la métallurgie du fer. Berlin. In-8°, viii-416 p., av. 155 fig. et 3 pl. 11^f,25.
- KUTTER. *Bewegung...* Mouvement de l'eau dans les canaux et les fleuves. Tableaux et contributions à l'explication de l'emploi des nouvelles formules générales de vitesse de *Ganguillet* et *Kutter*. Berlin. In-8°, iv-134 p., av. 1 pl. 8^f,75.
- WANNER. *Geschichte...* Histoire de la construction de la ligne du

- Saint-Gothard, avec un profil en long en 9 parties. Lucerne. In-8°, VIII-648 p. 12^f,50.
- J. v. HAUER. *Die Fördermaschinen...* Les machines d'extraction des mines. Leipzig. In-8°, XXIII-872 p. et 51 pl.
- GOTTGETREU. *Lehrbuch...* Traité de construction. Partie III : Constructions en fer. Berlin. In-8°, XX-408 p., av. un atlas de 35 pl. in-fol. et 2 pl. et 569 fig. dans le texte. 45 fr.
- Handbuch der chemischen...* Manuel de technologie chimique, composé et publié par P. A. Bolley, en collaboration avec plusieurs savants et techniciens, continué après sa mort par K. Birnbaum. Brunswick. T. VI, 1^{er} groupe; 2^e partie, livraison 2. In-8°, p. VII-XIII et 193-478, av. fig. 7^f,50.
- HEINZERLING. *Die Gefahren...* Les dangers et les maladies dans l'industrie chimique et les moyens de les prévenir et d'y remédier. Fasc. 5. Halle. In-8°, p. 237-240, av. 30 fig. 3^f,75.
- FRIESENHOF. *Die Sicherung...* La protection des mines contre les catastrophes du grisou, basée sur l'étude des marées. Neda-nocz. In-8°, 44 p. 1^f,50.
- RAUCHFUSS. *Widerstand...* Résistance et travail des machines des bateaux à vapeur. Kiel. In-8°, 61 p., av. fig. et 3 pl. 5 fr.
- F. WODICZKA. *Die Sicherheits-Wetterführung...* L'aérage de sûreté ou le système de double circulation d'air dans les mines à gaz explosifs pour empêcher les explosions de grisou, imaginé par F. W. Leipzig. In-8°, VII-89 p., av. 5 pl. 5 fr.

OUVRAGES ITALIENS.

- GATTONI. *I nuovi metodi...* Les nouvelles méthodes de la topographie. La mesure du méridien et la détermination du mètre. Casale Monferrato. In-8°, 47 p.
- PICCINELLI. *Osservazioni...* Observations sur l'emploi de la chaux hydraulique en poudre de Palazzolo. Bergame. In-8°, 21 p.
- BAJO. *Dei momenti...* Des moments fléchissants sur les divers appuis d'une travée horizontale à section constante chargée d'une façon quelconque. 2^e édition, avec notes ajoutées par l'auteur. Turin. In-8°. 3 fr.
- BORGATI e ZANETTI. *Trattato elementare...* Traité élémentaire de géométrie descriptive et de ses principales applications. Vol. I. Part. 1 : Théorie générale des projections. — Part. 2 : Géométrie à deux projections. — Part. 3 : Plans cotés. Turin. In-8°, 210 p., av. atlas de 65 planches. 7 fr.
- GALASSINI. *Manuale...* Manuel théorique et pratique pour l'usage de la règle à calcul Mannheim. Turin. In-8°, 250 p., av. 135 fig. 8 fr.
- STEFANINI. *Le macchine...* Les machines magnéto-électriques et dynamo-électriques; manuel théorique et pratique. Milan. In-8°, XII-265 p., av. 135 fig. 8 fr.
- ARNAUD. *Brevi cenni...* Courtes notes sur l'origine et sur les progrès de la géométrie théorique et appliquée. Cuneo. In-16, 54 p.
- BOMBICCI. *Mineralogia...* Minéralogie descriptive. Milan. In-16, IV-300 p., av. 119 fig. 2 fr.
- *Considerazioni...* Considérations sur la classification adoptée pour une collection de lithologie générale; avec cadres synoptiques et catalogue systématique. Bologne.
- *Sulle superficie...* Sur les surfaces hélicoïdes et paraboloides dans les rhomboèdres de dolomie et d'autres carbonates. Bologne.
- MARINELLI. *Materiali...* Matériaux pour l'altimétrie italienne. Fascic. II. Turin. In-8°, 187 p. 6 fr.
- SORRENTINO e AVENA. *Di una funicolare...* D'un funiculaire aérien entre la via Roma et le corso Vittorio Emanuele; projet. Naples. In-8°, 37 p., av. 3 pl. 2^f,50.
- SPEZIA. *I minerali...* Les minéraux à l'Exposition générale italienne de 1884 à Turin; impressions d'un minéralogiste. Turin. In-16, 23 p.
- BIADEGO. *Del ponte nuovo...* Du nouveau pont sur l'Adige à Vérone en un seul arc de 90 mètres, et d'autres ponts en fer en arc et à travées droites fondés sur pieux à vis. Vérone. 1 vol. de texte, XVI-527 p. et un vol. de 28 pl. 20 fr.
- MARINELLI. *Recenti studii...* Récentes études hydrographiques et thallasso-graphiques dans la Méditerranée. Padoue. In-8°, 40 p.
- PANTANELLI. *Note...* Notes paléontologiques. Modène. In-8°, 4 p. (Extr. des *Atti della Soc. dei naturalisti*.)
- PORTA. *Goniometria...* Goniométrie et trigonométrie plane. 2^e édition, entièrement refaite. Turin. In-12, 176 p. 2^f,50.
- AGUDIO. *Ferrovia...* Chemin de fer d'ascension la Madone de la Garde, dans la province de Gènes, avec le système Agudio tel qu'il est appliqué sur le chemin de fer de Superga. Turin. In-fol., 7 p.

- Brevi cenni...* Quelques notes sur la carte géologique de l'île d'Elbe. Rome. In-8°, 14 p.
- Brevi cenni...* Quelques notes sur la carte géologique de l'île de Sicile. Rome. In-8°, 28 p.
- DEL LUPO. *Distribuzione...* Distribution systématique et catalogue des minéraux, des modèles cristallographiques, des roches et des fossiles, etc., du Cabinet d'histoire naturelle de l'Institut R. technique « G. D. Romagnosi » à Plaisance. Plaisance. In-16, 32 p.
- *Contribuzione...* Contribution aux études de paléo-ethnologie des provinces méridionales d'Italie. Florence. In-8°, 12 p. (Extr. de la *Rivista scientifico-industriale*.)
- MALAZOLI. *Sulle marni...* Sur les marnes tortoniennes de Montebaranzone. Modène. In-8°, 4 p. (Extr. des *Atti della Società dei naturalisti*.)
- PANDIANI. *Illuminazione...* Éclairage électrique système Cramp-ton; éclairage à arc; éclairage à incandescence; force motrice. Milan. In-8°, 18 p.
- PIGORINI. *Analisi...* Analyses chimiques de quelques objets de cuivre et de bronze trouvés dans les stations lacustres du Benaco. Rome. In-8°, 22 p., av. 1 planche.
- ROTTI. *Di un electro-calorimetro...* D'un électro-calorimètre et de quelques mesures faites avec lui sur le générateur secondaire Gaulard et Gibbs; mémoire. Turin. In-4°, 30 p., av. 2 fig. (Extr. des *Memor. della R. Accad. di scienze di Torino*.)
- REZZADORE. *Il terremoto...* Le tremblement de terre de Java, Rome. In-8°, 12 p. (Extr. du *Bulletino della Soc. geograph. italiana*.)
- BIZIO. *L'applicazione...* L'application du nitrate d'argent à l'examen chimique des huiles. Venise. (Extr. des *Atti dell'Istituto*.)
- CASALI. *Ragguagli...* Notes sur les travaux exécutés au laboratoire de chimie agricole de Bologne. Bologne. In-16, 82 p.
- CARDINALI. *Una gita...* Un voyage d'instruction aux mines de l'Iglesiente. Sassari. In-8°, 46 p.
- MENGOTTI. *Idraulica...* Hydraulique et physique expérimentale; édition faite sur la 5^e édition milanaise de 1828. Citta di Castello. In-16, x-298 p. 2 fr.
- RAIMONDI. *Relazione...* Relation entre les sections circulaires et les hyperboles équilatères dans les surfaces du second degré; avec une note sur les conoïdes. Messine. In-8°, 14 p.
- COPPI. *Note...* Contributions à la flore pliocène modénaise. Mo-

- dène. In-8°, 4 p. (Extr. des *Atti della Soc. dei naturalisti di Modena*.)
- *Osservazioni...* Observations critiques géologiques et paléontologiques. Modène. In-8°, 4 p. (Extr. du même recueil.)
- MAZZETTI e PANTANELLI. *Cenno monographico...* Note monographique sur la faune fossile de Montese. Partie 1. Modène. In-8°, 41 p. (Extr. du même recueil.)
- ASCHIERI. *Geometria...* Géométrie projective. Milan. In-16, 190 p., av. 66 fig. 2 fr.
- NACCARI e BATTELLI. *Sul fenomeno...* Sur le phénomène de Peltier dans les liquides; note. Part. 1. Turin. In-8°, 46 p. (Extr. des *Atti della R. Accad. delle scienze di Torino*.)
- BRAMBILLA. *Le curve...* Les courbes asymptotiques d'une classe de surfaces algébriques; note. Turin. In-8°, 9 p. (Extr. du même recueil.)
- ALESSANDRI. *Metodo sistematico...* Méthode systématique pour l'analyse chimique qualitative des substances inorganiques et organiques, et pour les recherches toxicologiques. Milan. In-8°, xiv-284 p., avec planches et fig. 5 fr.
- CANOZZINI. *Sulla teoria...* Sur la théorie mathématique de la pile, ou sur le mode de distribution de l'électricité dans les conducteurs. Lecce. In-8°, xi-126 p. et 2 pl.
- EMO. *Variuzioni...* Variations de la résistance électrique des fils métalliques solides et purs avec la température. Florence. In-8°, 181 p.
- MAISSEN e BARBIERI. *Analisi...* Analyses chimiques exécutées dans le laboratoire de la station agricole de Modène en 1884. 1^{re} catégorie: Terres. Modène. In-8°, 98 p. (Extr. du *Bollett. della stazione agraria di Modena*.)
- NICOLIS. *Idrografia...* Hydrographie souterraine de la haute plaine Véronaise. Vérone. In-4°, viii-56 p. et 2 pl. color.
- SALMOIRAGHI. *Istrumenti...* Instruments et méthodes modernes de géométrie appliquée. Fasc. 1 à 4. Gr. in-8°. (Formera au moins 20 fasc. de 64 pages, à 2 fr. chacun, y compris les planches.)
- Monografia...* Monographie sur l'établissement mécanique de l'Elvetica à Milan; projet de dispositions pour les constructions de locomotives et de véhicules de chemins de fer. Milan. In-4°, 12 p., av. 2 pl. 0^e, 70.
- GALIMBERTI. *Teoria...* Théorie des droites parallèles. Treviglio. In-8°, 46 p.
- HUNTINGTON. *Illuminazione...* Éclairage au gaz comprimé des

- phares, signaux, chemins de fer, villes, etc., du système américain J.-M. Foster; observations et rapport. Rome. In-4°, 46 p.
- PEPIN. Étude sur quelques formules d'analyse utiles dans la théorie des nombres. Rome. (Extr. des *Atti dell' Accad. pontif. di Nuovi Lincei*.)
- PESCETTO. *Applicazioni...* Applications de l'électricité. Rome In-8°, 26 p. et 4 pl. (Extr. de la *Rivista di artiglieria e genio*.)
- PINTO. *Teorica...* Théorie des principaux phénomènes d'électricité et de magnétisme. Naples. In-8°, 555 p., av. atlas de 17 planches. 15 fr.

N° 433

(4)

ANNALES DES MINES

THÉORIE CELLULAIRE DES PROPRIÉTÉS DE L'ACIER

Par MM. OSMOND et WERTH,
ingénieurs des arts et manufactures.

INTRODUCTION.

Ce travail a été fait, pour la plus grande partie, au laboratoire des usines du Creusot; il doit donc beaucoup, non seulement aux ressources de toute nature que nous offrait un grand établissement métallurgique, mais surtout au milieu spécialement favorable qu'y avaient préparé, pour l'étude physique de l'acier, les traditions de l'usine et l'impulsion de l'ingénieur en chef, M. Barba.

Aussi nous faisons-nous un devoir d'adresser d'abord à M. Schneider, qui a bien voulu encourager nos essais et autoriser la publication de nos résultats, l'expression de notre vive et respectueuse reconnaissance.

Un premier mémoire, qui contenait déjà toutes nos conclusions essentielles, a été déposé sous pli cacheté à l'Académie des sciences le 9 juillet 1883, ouvert le 17 no-

vembre 1884 et renvoyé à l'examen d'une commission composée de MM. Frémy, Boussingault et Tresca.

Les expériences calorimétriques et quelques autres sont plus récentes et ont pu être achevées grâce à la bienveillante hospitalité trouvée par l'un de nous au laboratoire de M. Troost, à la Sorbonne.

Nous avons dû, dans notre rédaction définitive, tenir compte des travaux de MM. Abel et Deering et Stead, travaux poursuivis parallèlement aux nôtres, mais qui ont reçu une publicité antérieure; nous y avons trouvé, à l'appui de nos généralisations, de nouveaux arguments d'autant plus précieux que les recherches et les méthodes anglaises étaient plus indépendantes des nôtres.

CHAPITRE I

STRUCTURE CELLULAIRE DE L'ACIER.

A. *Examen microscopique des cassures.* — Si l'on regarde au microscope la cassure d'un acier trempé, cette cassure, qui semblait amorphe et presque vitreuse, prend, sous un grossissement convenable, l'aspect que présentait à l'œil nu la cassure du même acier recuit.

Un acier dur donne au microscope l'illusion d'un acier doux.

Le seul effet *apparent* que produisent soit la trempe, soit l'augmentation de la teneur en carbone, est donc une diminution des dimensions absolues du grain.

Sous un même grossissement assez fort (100 diamètres au moins), on n'aperçoit plus aucune différence entre les différents aciers, durs ou doux, recuits (*) ou trempés. Ce

(*) A moins d'indication contraire, le mot *acier recuit* voudra toujours dire « acier réchauffé *au rouge*, puis abandonné au refroidissement lent ».

qu'on appelle le grain nous apparaît comme un amas de granulations polyédriques semblables dont les petites facettes brillent et s'irisent sous la lumière électrique qui éclaire la préparation.

Ainsi, dès ce premier examen, *tous les aciers* (en entendant ce mot au sens industriel de fer carburé, prenant ou non la trempe, obtenu par voie de fusion) *semblent formés d'un seul et même polyèdre élémentaire* dont les dimensions diamétrales moyennes, d'ailleurs un peu irrégulières, sont au plus égales à $1/100^{\circ}$ de millimètre.

Ce polyèdre élémentaire, qui nous apparaît comme la dernière unité figurée accessible à nos instruments, est-il lui-même homogène? Comment se compose-t-il en ces agglomérations plus grossières qui portent le nom de grains et qui, mises en évidence par les cassures, possèdent aussi une individualité distincte? C'est ce que nous allons rechercher par différentes méthodes, en indiquant, au fur et à mesure qu'elles se présenteront, les conclusions acquises.

B. *Méthode Weyl.* — Quand on attaque un barreau d'acier naturel par la méthode que Weyl a proposée pour le dosage du carbone, c'est-à-dire par l'acide chlorhydrique étendu au pôle positif d'un élément Bunsen, le résidu charbonneux garde la forme, l'aspect et les dimensions du barreau primitif.

Ce résidu, délayé dans l'eau, ou mieux dans l'alcool (pour éviter l'oxydation), se montre principalement composé de paillettes microscopiques grises, magnétiques, brillantes. L'analyse chimique y trouve, comme éléments essentiels, du fer, du carbone et une certaine quantité d'eau qui varie avec les circonstances de l'expérience sans être jamais nulle : c'est un carbure de fer qui paraît avoir subi un commencement d'attaque pendant son séjour prolongé dans l'acide.

La structure en paillettes de ce carbure prouve qu'il est interposé dans l'acier, comme le graphite dans les fontes grises, entre les facettes des granulations polyédriques, et non pas mélangé ou dissous uniformément.

Le barreau gardant sa forme après la dissolution du fer libre, il faut que le carbure constitue un réseau continu dans les mailles duquel le fer était logé.

Nos polyèdres élémentaires sont donc formés d'une granulation de fer doux généralement revêtue d'un enduit de carbure de fer dont l'épaisseur varie avec la dureté de l'acier et les conditions physiques qui président aux arrangements moléculaires.

Par une assimilation un peu forcée peut-être, mais qui a l'avantage de prêter aux faits d'observation une expression frappante, nous comparerons la granulation ferreuse au *noyau*, le carbure à l'*enveloppe* des cellules organiques et nous appellerons l'ensemble *cellule simple*.

Souvent aussi nous emploierons le mot *ciment* pour désigner le carbure qui constitue (avec les impuretés auxquelles il est toujours allié en pratique) l'ensemble des enveloppes cellulaires et *cimente*, pour ainsi dire, les noyaux entre eux.

Mais cette analyse immédiate que nous venons de faire par la méthode Weyl ne s'applique, comme nous l'avons indiqué, qu'aux aciers refroidis lentement à partir du rouge. Après la trempe vive, surtout dans les régions périphériques, le résidu, au lieu d'être presque entièrement formé des paillettes ci-dessus décrites, n'en contient plus qu'une proportion très diminuée; il se compose surtout d'une substance amorphe, gélatineuse, noirâtre, qui paraît être un hydrate de carbone analogue, au moins d'aspect, à celui qu'on isole de l'acier par le chlorure cuivrique. D'autre part, l'examen microscopique direct des cassures nous avait montré l'acier trempé constitué par les mêmes polyèdres élémentaires que l'acier naturel:

il faut donc admettre que le carbone perd en grande partie par la trempe son rôle d'enveloppe et sa forme figurée pour se répandre uniformément dans toute la masse métallique. Nous tâcherons plus tard de déterminer la nature de cette transformation.

C. Méthode des lames minces. — Si l'on essaie de préparer des lames minces d'acier analogues à celles qui rendent tant de services à la pétrographie moderne, on n'arrive jamais à la transparence; mais, avec le secours d'artifices appropriés, ces lames peuvent cependant fournir des indications utiles. On les colle avec du baume de Canada sur une plaque de verre et, après en avoir réduit l'épaisseur autant qu'il est possible, c'est-à-dire jusqu'à ce que le métal commence à être perforé en quelques endroits, on les attaque par l'acide azotique froid et étendu. Dans ces conditions, l'acide dissout le fer et transforme le carbure en un produit brun gélatineux encore mal connu, mais qui représente, quelle que soit sa nature exacte, la plus grande partie du carbone *dans la position même que ce carbone occupait dans l'acier*. En examinant au microscope, au voisinage des parties perforées, là où l'épaisseur de la lame descendait au-dessous de 2 à 3 centièmes de millimètre, le squelette transparent obtenu, on peut se convaincre que la distribution du carbone n'est nullement uniforme: la substance brune témoin montre en coupe le réseau cellulaire dont l'existence nous avait été indiquée déjà par des méthodes indirectes.

Nous aurions voulu donner la photographie de l'une de ces préparations; mais leur coloration brune et quelques autres difficultés ne nous ont pas permis d'en obtenir une reproduction satisfaisante.

La *fig. 8*, (Pl. I; grossissement = 85 D) en fournit d'ailleurs un équivalent assez net: c'est le squelette de

silice que l'on prépare en traitant au rouge par l'acide chlorhydrique gazeux une lame mince préalablement grillée d'acier riche en silicium. La distribution de ce métalloïde est tout à fait analogue à celle du carbone.

Indépendamment des cellules simples, les lames minces rendues transparentes montrent des lignes vides souvent assez larges. Ces lignes forment dans les lingots bruts de coulée un réseau polygonal fermé et à larges mailles, réseau qui devient de plus en plus brisé, confus et incertain à mesure que l'acier a été plus parfaitement modifié par le travail.

Mais la préparation des lames minces est difficile et on peut les remplacer avec avantage, maintenant que la cellule simple est définie une fois pour toutes, par des sections polies que l'on attaque au moyen de l'acide azotique.

D. Attaque de sections polies par l'acide azotique (*).

— Cette nouvelle méthode est fondée sur les mêmes réactions que la précédente. Les lignes vides des coupes minces, représentant du fer doux, doivent se distinguer

(*) L'attaque de surfaces polies par un réactif chimique a été souvent essayée.

Les aciéries de Reschitza et Anina, notamment, exposaient à Paris, en 1878, une intéressante collection d'échantillons attaqués par le bichlorure de mercure.

Plus souvent, on s'est servi d'acide sulfurique dilué; comme les aciers d'inégale dureté se dissolvent inégalement dans le même temps, que les fissures s'agrandissent, etc., ces attaques peuvent bien donner quelques renseignements sur les défauts les plus grossiers des aciers; cependant les investigations de ce genre ne sont guère entrées dans la pratique, car les défauts qu'elles indiquent sont ordinairement visibles à la seule inspection des cassures.

Nos attaques par l'acide azotique poursuivent un but très différent; c'est la structure normale et non les défauts accidentels de l'acier que nous cherchons à mettre en évidence.

par leur éclat métallique, tandis que les régions carburées prendront un aspect relativement terne.

Nous employons de préférence l'acide azotique à 36° B, dans lequel l'acier devient passif; l'action de l'acide se limite ainsi spontanément à une profondeur infiniment faible. Si le résultat de la première immersion paraît insuffisant, on recommence deux ou trois fois en lavant à grande eau après chaque immersion. La surface gravée est ensuite passée à l'alcool, puis à l'éther.

Examinons ainsi un acier de moyenne dureté (0,50 de carbone p. 100) en le prenant successivement brut de coulée, forgé et refroidi sans précautions, forgé et recuit, trempé, trempé et recuit, écroui.

Un petit lingot ABCD de $80 \times 80^{\text{mm}}$ (fig. 16, Pl. I) a été sectionné suivant $\alpha\beta$ en travers, $\gamma\delta$ en long: La partie supérieure AB $\alpha\beta$ a été forgée en carré de 40×40 et le bout de ce carré correspondant à la face $\alpha\beta$ coupé en cinq morceaux cubiques *b, c, d, e, f*, qui ont subi respectivement les préparations indiquées.

(a) **Acier brut de coulée.** — Les sections $\alpha\beta$, $\gamma\delta$ polies et attaquées par l'acide azotique offrent, sur fond sombre, un réseau visible à l'œil nu de lignes blanches brillantes, les mêmes, bien entendu, qui découpaient les squelettes des lames minces (fig. 1, Pl. I).

Les polygones ont une tendance très marquée à s'allonger normalement aux faces dans les régions périphériques; puis ils prennent des dimensions et des formes plus régulières; enfin, vers le centre, ils perdent toute leur netteté et s'enchevêtrent les uns dans les autres.

Si l'on regarde la fig. 1 (section longitudinale $\gamma\delta$, pied du lingot, grandeur naturelle) en se rappelant l'excellente monographie de Tchernoff (*), on reconnaît immédiate-

(*) D'après la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, 1^{er} sem. 1880, VII, 129.

ment, en coupe, les prismes normaux à la surface et, à leur suite, les polyèdres dont le savant ingénieur russe a donné la description.

Les *fig. 2* et *3* (Pl. I) montrent, avec un grossissement de 18 D, la texture du lingot vers les bords et vers le centre.

On y remarque, dans l'intérieur des polygones, un chevelu de traînées brillantes parallèles formant, dans une même région, un ou plusieurs systèmes arrêtés par le réseau polygonal : ce sont des coupes d'accroissements dendritiques indépendants qui se sont mutuellement limités par des surfaces grossièrement planes.

Cette organisation est bien celle que Tchernoff avait indiquée et par laquelle il avait rendu compte de la structure prismatique de la surface des lingots.

Nos attaques apportent donc à ces conclusions une confirmation entière. Mais elles y ajoutent aussi une donnée nouvelle sur la manière dont se limitent les agglomérations juxtaposées.

Les surfaces de contact ne contenaient pas de carbure de fer, puisque l'acide azotique les dissout sans résidu dans les lames minces et les accuse, dans les attaques superficielles, par des lignes métalliques; elles représentent des couches de cellules simples dépourvues d'enveloppe et réduites à un noyau dont les facettes polygonales se distinguent nettement au microscope, sous un grossissement un peu fort.

Mais ces surfaces de contact sont aussi, au point de vue de la résistance aux efforts mécaniques, des surfaces de faiblesse : c'est suivant elles que se produisent les criques et les ruptures des lingots.

Ainsi, *le réseau de moindre cohésion est aussi un réseau de carburation minima.*

Indépendamment de leurs formes et de leurs dimensions absolues, les prismes et les polyèdres que nous

venons d'étudier sont toujours des conglomerats de cellules simples; nous proposons de les appeler *cellules composées*.

Leur caractère le plus frappant étant la rareté du carbure de fer dans leurs faces de contact, on pourrait les définir et les distinguer en même temps des cellules simples en disant : « *Les cellules composées n'ont pas d'enveloppe.* »

Cependant cette définition serait un peu absolue. Ce qui constitue en réalité l'individualité d'une cellule composée, ce qui la différencie de ses voisines, c'est d'être un système dendritique unique; si elle contenait plusieurs systèmes d'axes, ce ne serait plus une unité simple.

Or la *fig. 2* montre clairement qu'une cellule composée sans enveloppe comprend généralement plusieurs systèmes dendritiques différents dont la limite est dessinée par l'orientation des alignements moléculaires, sans qu'il y ait départ de ciment; ce départ exige en effet, comme nous l'expliquerons plus loin, (III, D) certaines conditions spéciales : orientation des joints par rapport aux faces du lingot, pression mécanique, rareté relative du ciment; et ces conditions ne sont ni toujours ni partout réalisées.

Il faudrait donc distinguer des cellules composées de deux espèces et dire :

Les cellules simples se composent en dendrites qui se limitent mutuellement et que nous appelons cellules composées de 1^{er} ordre.

Celles-ci, à leur tour, peuvent, dans des conditions déterminées, former des agglomérations complexes dépourvues d'enveloppe et que nous appelons cellules composées de 2^e ordre.

Mais ces dernières ont seules une importance pratique puisque leurs surfaces forment dans l'acier un réseau doué de propriétés spéciales : c'est elles que nous enten-

drons désigner quand nous parlerons, dans la suite de ce mémoire, de *cellules composées*.

(b) **Acier forgé** (*fig. 6*, Pl. I; gross^t = 18 D). — Le cube *b* a été refroidi après forgeage sans précautions particulières. L'attaque par l'acide azotique y montre un réseau polygonal comparable à celui de l'acier brut, mais les cellules composées sont devenues beaucoup plus petites et beaucoup plus uniformes; leurs limites sont aussi moins nettes et les cellules voisines présentent de très fréquentes liaisons; les lignes métalliques brillantes qui les séparent sont le plus souvent discontinues.

(c) **Acier forgé et recuit** (*fig. 7*, Pl. I; gross^t = 18 D). — Les caractères de l'acier forgé s'exagèrent encore après un recuit soigné suivi d'un refroidissement lent; les cellules composées deviennent de plus en plus petites et confuses.

(d) **Acier trempé** (*fig. 9*, Pl. I; gross^t = 18 D). — Après la trempe vive, l'acier prend, au contact de l'acide azotique, une coloration uniforme d'un noir intense qui montre bien la répartition continue du carbone à un état particulier; *la surface immergée est comme recouverte d'une mince couche de noir de fumée*. La photographie a été prise après un lavage qui a fait disparaître cette pellicule; l'acier trempé présente alors un aspect général plus sombre et plus plan que celui des autres échantillons; les cellules composées ont disparu; cependant la surface est encore divisée par un réseau de sillons peu profonds, ternes, irrégulièrement enchevêtrés à la manière des vermiculaires; les grains à facettes brillantes deviennent rares; l'éclat est légèrement vitreux; on remarque parfois de minces fissures à bords brillants produites par une trempe trop brutale; des taches noires révèlent probablement des points plus carburés.

(e) **Acier trempé et recuit** (*fig. 10*, Pl. I; gros-

sisement 18 D.). — Un recuit au rouge après la trempe en fait disparaître tous les effets. La *fig. 10* est tout à fait analogue à la *fig. 7*; peut-être la texture est-elle devenue plus fine encore et plus régulière.

(f) **Acier écroui** par un martelage à froid sur les quatre faces (*fig. 11*, Pl. I; grandeur naturelle). — On remarque suivant les diagonales du carré, une sorte de croix qui coïncide avec les zones de transmission des forces, telles que les *a* définies M. Tresca. Dans les régions les plus fatiguées, les cellules simples sont visiblement déformées et allongées dans les plans de glissement; en même temps, les enveloppes, moins malléables, moins extensibles que les noyaux, se sont rompues dans les mêmes plans. M. Barba rattache justement ce phénomène à celui de la schistosité des roches; mais il n'y a là rien de commun, au point de vue anatomique, avec les effets de la trempe, bien que certaines propriétés physiques de l'acier subissent dans les deux cas des modifications analogues.

(g) En résumé, les attaques par l'acide azotique nous ont permis d'identifier partout nos cellules composées avec le *grain* de l'acier. Nous avons donc obtenu une définition précise du grain et montré comment il est le résultat d'un arrangement dendritique des cellules simples, avec raréfaction du ciment dans les surfaces de contact des agglomérations limitrophes. Nous arrivons en même temps à une notion plus nette de ce qu'il faut entendre par l'homogénéité de l'acier. Cette homogénéité ne saurait être comparée à celle des liquides ou des corps amorphes. *Un acier pourra être dit homogène quand les cellules qui en forment le tissu ne seront soumises à aucun ordre géométrique et posséderont toutes leur enveloppe complète.*

Mais c'est là un état idéal dont les lingots, comme nous l'avons vu, s'éloignent beaucoup et vers lequel on

s'efforce pratiquement d'amener l'acier par des opérations convenablement dirigées.

CHAPITRE II.

ANALYSE CHIMIQUE IMMÉDIATE DE LA CELLULE SIMPLE.

L'analyse élémentaire des fontes, des aciers et des fers a pris dans les laboratoires métallurgiques une grande importance et atteint à un haut degré de précision; elle a établi des relations parfois mathématiques entre la composition chimique et les propriétés physiques de ces métaux; mais, sur le mécanisme intime de ces relations, on ne sait rien encore, ou peu s'en faut.

Nous avons démontré, dans le chapitre précédent, que les produits de la métallurgie du fer possèdent une structure complexe, même quand ils sont obtenus par voie de fusion. Les propriétés d'un échantillon donné seront évidemment, pour une grande part, la résultante des propriétés particulières du noyau et de l'enveloppe de ses cellules; et la connaissance du rôle joué par les corps étrangers que l'on rencontre associés au fer serait bien avancée, si l'on savait comment chacun de ces corps se distribue entre les deux éléments de la cellule, quelle forme chimique il y revêt et quelle influence il y exerce.

C'est donc l'analyse immédiate de la cellule simple que nous voudrions faire; mais les matériaux sont rares pour une pareille étude et nos contributions personnelles insuffisantes. Nous essayerons cependant, ne fût-ce que pour donner un cadre à de nouvelles recherches, de résumer tout ce que nous avons pu recueillir ou acquérir sur cette importante question; nous étudierons longuement d'abord la combinaison type: « Fer et Carbone »

dans laquelle nous ferons entrer ensuite, séparément et ensemble, le Silicium, le Soufre, le Phosphore et le Manganèse, c'est-à-dire les impuretés usuelles, nuisibles ou utiles, des produits de la sidérurgie.

M. Montmartin, chef préparateur du laboratoire du Creusot, nous a prêté, pour les nombreuses analyses qu'a exigées cette partie de notre travail, un concours très dévoué et très utile dont nous tenons à le remercier ici.

§ 1. — Fer et carbone.

1^{re} PARTIE. — *Changements d'état du carbone.*

A. *Principales expériences antérieures.* — Les différentes formes que peut affecter le carbone dans les fontes et les aciers ont de tout temps occupé les métallurgistes.

Karsten (*), en étudiant l'action des acides sur les fers carburés, distingue très nettement, parmi les résidus de l'attaque, deux matières principales: d'abord, « une substance graphiteuse qu'on obtient de l'acier non trempé, du fer ductile, de certaines espèces de fontes grises et de la fonte blanche devenue grise et douce par le grillage; cette substance, qui se décompose si facilement par les acides, n'est pas du carbone pur, ni du charbon oxydé, mais c'est un véritable composé de fer et de carbone dont les proportions sont difficiles à déterminer. » L'auteur l'appelle, en attendant, polycarbure, et il ajoute: « On ne doit pas la confondre avec le charbon oxydé (en langage moderne, hydrate de carbone), le résidu noir brunâtre laissé par l'acier trempé et la fonte blanche traités par les acides chlorhydrique et sulfurique et qui

(*) *Traité de métallurgie*, traduit par J. F. Culmann, 2^e édition française, Metz, 1830; I, §§ 207 et suiv.

Tome VIII, 1883.

se change en poudre brunâtre par l'action de l'acide azotique. » Ces observations bien interprétées avaient rapidement conduit Karsten à formuler sur l'état du carbone et ses transformations métallurgiques des idées très exactes et fort en avance sur la science de son temps.

Berthier (*), de son côté, isola de l'acier, par le brome ou l'iode en présence de l'eau, un carbure de fer auquel il attribue la formule FeC .

Caron (**), trouve que l'acier de cémentation, en se dissolvant dans l'acide chlorhydrique, laisse un résidu charbonneux plus abondant que le même acier martelé et que l'acier trempé ne fournit plus que de la silice. Malgré ses propres analyses qui montrent le carbone associé dans ces résidus à une proportion importante de fer, il admet que le carbone, libre dans l'acier de cémentation, se combine au fer par le martelage et mieux par le refroidissement brusque; il explique ainsi, par la formation d'un carbure de fer, le durcissement que la trempe et l'écroutissage communiquent à l'acier et pose la théorie générale qui, appuyée par M. Akerman, est, aujourd'hui encore, assez généralement adoptée.

En 1875, MM. Troost et Hautefeuille (***) ouvraient à la métallurgie, par leur essais calorimétriques sur les carbures de fer et de manganèse, une voie nouvelle qui n'a pas été assez suivie.

MM. Abel et Deering (****) poursuivent depuis plusieurs années de très intéressantes recherches; ils attaquent l'acier par une solution de bichromate de potasse additionnée de 5 p. 100 (en volume) d'acide sulfurique concentré et obtiennent une matière noire, magnétique, à laquelle ils assignent, après discussion, la formule Fe^3C .

(*) *Annales des mines*, 3^e série, III, 209.

(**) *Comptes rendus*, LVI, 43 et 211.

(***) *Comptes rendus*, LXXX, 964.

(****) *Annales de chimie et de physique*, 5^e série, XXX, 499.

Cette formule n'est peut-être pas très rigoureusement établie, car la substance isolée subit toujours un commencement d'attaque et une fixation d'eau; mais le point important est que les aciers recuits et écrouis donnent sous forme de carbure de fer la presque totalité de leur carbone, tandis qu'on ne retire de l'acier trempé qu'une faible quantité du même carbure; le reste du carbone a disparu.

Enfin, M. Stead (*) a annoncé qu'il se forme, par l'action de l'acide azotique sur les aciers, deux matières colorantes distinctes que l'on pourrait rapporter à deux états différents du carbone; mais aucune communication nouvelle n'est venue, du moins à notre connaissance, confirmer et préciser ces premières indications.

Nous arrivons maintenant à la description de nos propres expériences.

B. *Essais par la méthode Weyl* (**). — Cette méthode nous avait déjà permis l'analyse anatomique de la cellule en noyau et enveloppe; nous étions donc amenés tout naturellement à étudier le résidu qu'elle isolait et que nous avons appelé le *ciment* de l'acier.

Ce résidu, en négligeant pour le moment les impuretés du métal, contient du fer, du carbone, de l'eau et souvent de l'oxygène en excès.

Malheureusement, les conditions de l'expérience influent notablement sur les résultats. Tout d'abord, nous n'avons jamais recueilli la totalité du carbone (**); on constate une perte qui semble augmenter, dans certaines limites, avec la surface d'immersion, c'est-à-dire en raison inverse de la quantité d'électricité qui traverse

(*) *Journal of the iron and steel Institute*, 1883, I, p. 213.

(**) *Poggendorf's Annalen*, 1861, 4^e série, XXIV, 507.

(***) Weyl ne paraît avoir analysé que des fontes spéculaires et, sur un échantillon de cette fonte, nous avons bien trouvé le carbone total.

l'unité de surface pendant l'unité de temps; ensuite, le poids du résidu sec diminue en même temps que sa teneur en eau et sa teneur en carbone augmentent, quand on diminue, toutes choses égales d'ailleurs, la surface immergée.

Nous ne pouvions donc espérer de résultats absolus. Mais comme, dans les mêmes conditions, on obtient des résultats régulièrement constants, si, les conditions expérimentales restant fixes, on trouvait des différences entre les différents états d'un même acier, les écarts devaient être indépendants de la méthode et pouvaient servir à caractériser l'état de l'acier.

Ci-dessous une série de quatre essais comparables :

Conditions des expériences.	}	Barreaux de 40 × 40 millim. enduits latéralement de gomme laque et immergés par leur section droite.	
		Bain = 2 litres d'acide chlorhydrique étendu (15 vol. d'acide concentré et 85 d'eau).	
		Pile : 1 élément Bunsen à grande surface. Le pôle négatif est formé d'une feuille de platine.	
		Composition chimique de l'acier employé	Carbone, pour 100 0,49 Silicium 0,07 ₅ Soufre 0,02 ₄ Phosphore 0,04 ₁ Manganèse 0,37
		Le résidu a été lavé à l'eau, à l'alcool et à l'éther, puis séché dans le vide et pesé sur filtre taré.	

État du barreau	Forgé et refroidi sans précautions.	Forgé et recuit.	Trempé à l'eau froide.	Trempé et recuit.	
Analyse du résidu sec.	Fer	78,40	82,38	52,50	83,22
	Carbone	12,00	11,27	18,90	9,92
	Eau	8,40	6,40	26,07	3,48
	Total	98,80	100,05	97,47	98,62
Poids du résidu sec p. 100 d'acier.	3,31	4,41	1,61	4,14	
Carbone p. 100 d'acier.	Calculé d'après les chiffres ci-dessus.	0,39 ₇	0,46 ₃	0,30 ₆	0,41
	Dosé directement . .	0,47 ₆	0,49 ₇	non dosé	0,49 ₇
Perte de carbone . . .	0,07 ₉	0,03 ₄	Env. 0,49	0,08 ₇	
Poids absolu de fer dissous . . .	11 ^{gr} ,280	9 ^{gr} ,806	11 ^{gr} ,520	10 ^{gr} ,304	
En heures	6	5	5	5	

Ces analyses et l'aspect seul du résidu montrent immédiatement que nous avons affaire à une matière complexe, mélange de paillettes grises, magnétiques, d'apparence métallique, et d'une substance noirâtre, amorphe, gélatineuse, rare pour l'acier recuit, mais qui devient dominante pour l'acier trempé.

Les premières, qui représentent, un peu altérées sans doute, des enveloppes de cellules, sont essentiellement un composé de fer et de carbone dont il serait prématuré de vouloir donner la formule; l'autre semble être un hydrate de carbone (*).

Indépendamment de toute hypothèse, il est manifeste que la proportion du carbure de fer diminue et que celle de l'hydrate de carbone augmente à mesure que le refroidissement de l'acier est plus rapide à partir du rouge. On peut donc conclure à l'existence du carbone sous deux états différents dont le rapport varie avec la vitesse du refroidissement. Nous proposons d'appeler le premier *carbone de recuit* et le second *carbone de trempe*, dénominations qui ne préjugent en rien l'état réel du carbone et ne sont fondées que sur les moyens les plus ordinaires de transformation (**).

C. *Essais par la méthode Eggertz.* — (a) On sait que cette méthode consiste à attaquer l'acier par l'acide nitrique de densité 1,20, puis à chauffer pendant un temps déterminé et à une température fixe. Le carbone se dis-

(*) MM. A. Bartoli et G. Papasogli ont appelé récemment l'attention sur un corps qu'ils appellent Mellogène et qui se forme dans des conditions un peu analogues. (*Il nuovo Cimento*, t. VIII, p. 278.)

(**) Le carbone des carbures devrait logiquement s'appeler *combiné*, mais ce mot étant employé aujourd'hui pour représenter tout le carbone qui n'est pas sous la forme de graphite, c'est-à-dire la somme des carbones de trempe et de recuit, son emploi créerait une perpétuelle confusion.

sout en donnant à la liqueur une coloration brune que l'on compare à celle que fournit un acier type traité dans les mêmes conditions.

Cette méthode a donné lieu à de nombreux travaux et à de nombreuses critiques.

Le Dr Kellberg (*), de Stockholm, obtient des résultats très satisfaisants pour des produits très divers.

M. Deshayes (**) trouve que la méthode Eggertz donne des chiffres trop faibles pour les teneurs inférieures, trop forts pour les teneurs supérieures à celle du type; le manganèse et le phosphore augmenteraient la teneur apparente en carbone.

La trempe a aussi une influence, et même une influence très grande, que le professeur Eggertz (***) avait bien signalée, mais sans paraître y attacher d'importance.

M. Woodcock (****) a indiqué le même fait et repris, pour l'expliquer, l'hypothèse de Jullien, la transformation du carbone en diamant.

M. Carnot (*****), de son côté, avait également remarqué qu'un même acier semblait présenter, par la méthode Eggertz, les teneurs suivantes :

Dans son état primitif	0,79 p. 100.
Après trempe	0,63 —
Après recuit	0,79 —

Rappelons enfin que, pour certains aciers très doux, la coloration attribuée au carbone change notablement de ton et passe du brun franc au brun jaune verdâtre.

Malgré ses imperfections, la méthode colorimétrique

(*) *Berg-und hüttenmännische Zeitung*, 1874, p. 468.

(**) *Bulletin de la Société chimique*, t. XXXI, p. 40.

(***) Traduit par le *Bull. de l'industrie minière*, 1881, p. 520.

(****) *Engineering*, numéro du 19 mai 1882.

(*****) Communication de l'auteur.

avait l'avantage d'être simple et rapide; on a continué de l'employer avec les précautions suggérées par M. Eggertz et par M. Deshayes. Grâce à l'usage d'une série d'étalons, on obtient en réalité des résultats très satisfaisants dans la pratique industrielle; mais les anomalies signalées restaient inexplicables.

(b) Cependant ces anomalies pouvaient fournir des indications utiles et nous avons été conduits à les examiner de plus près.

Le point de départ de nos recherches fut la diminution apparente de la teneur en carbone après la trempe; l'un de nous avait constaté cette diminution dès janvier 1881 et en avait été très surpris, car aucune publication française ne l'avait encore mentionnée.

Comme on opérait sur de petits fragments de métal, on pouvait craindre une perte de carbone par oxydation pendant le chauffage; il était donc nécessaire de contrôler le fait observé:

1° En réchauffant l'acier dans une atmosphère non oxydante;

2° En vérifiant que la teneur en carbone se relevait après le recuit de l'acier trempé.

On découpa dans les barres d'acier, avec une mèche spéciale, de petits cylindres *ab* qui furent ensuite divisés en fragments 1, 2, 3, 4 (*fig. 15, pl. I*) du poids de 0^g,500. Chacun de ces fragments devait être dissous ultérieurement par 25^{cc} d'acide azotique (densité 1,20) à 85° cent. (*)

(*) Puisque les indications de la méthode Eggertz ne sont pas absolues, nous devons définir exactement les conditions dans lesquelles cette méthode est pratiquée au Creusot.

On attaque 0^g,500 de chacun des aciers à essayer par 25 centimètres cubes d'acide azotique (densité 1,20) dans des fioles jaugées de 50 centimètres cubes. Les fioles sont maintenues pendant trois heures dans une étuve à 85° ou, ce qui revient au même, dans un bain d'eau bouillante pendant une heure; on

On fit ainsi les essais suivants :

α. Chauffage dans l'azote pur et sec. — Quatre fragments du même acier furent placés dans deux nacelles en platine et chauffés dans un tube en platine par un chalumeau Schlœsing, dans un courant d'azote pur et sec. Dix minutes après l'allumage, le tube étant depuis plusieurs minutes au rouge cerise, l'une des nacelles fut rapidement tirée dans une cuve à eau à 10°, puis le tube immédiatement refermé et le chalumeau éteint, de sorte que les fragments placés dans la seconde nacelle avaient été chauffés dans l'azote pendant le même temps que les fragments trempés; deux autres avaient été gardés comme témoins.

On trouva par la méthode Eggertz :

	Carbone pour 100.
Témoins à l'état naturel.	0,58 ₇ et 0,61
Cylindres réchauffés et refroidis dans le courant d'azote	0,48 ₂ et 0,45 ₃
Cylindres réchauffés dans le courant d'azote et trempés.	0,28 et 0,27

β. Chauffage dans l'hydrogène. — Mêmes essais que ci-dessus en remplaçant l'azote par l'hydrogène également pur et sec.

étend ensuite à 50 centimètres cubes avec de l'eau distillée, on laisse refroidir et l'on transvase dans des verres de Bohême bien calibrés de 43 millimètres de diamètre.

Pour mesurer le pouvoir colorant des solutions obtenues, on se sert d'une série de liqueurs types contenues dans les mêmes verres de Bohême de 43 millimètres et placées devant une glace dépolie orientée au nord. Les termes successifs correspondent aux teneurs en carbone de, pour 100 : 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90 pour 0^{sr},500 d'acier dissous dans 50 centimètres cubes.

On amène la liqueur à comparer entre les deux termes voisins qui la comprennent, et l'on estime au juger le chiffre des centièmes pour 100.

Les types sont préparés au moyen d'aciers connus, attaqués

	Carbone pour 100.
Témoin à l'état naturel.	0,91
Cylindre réchauffé et refroidi dans le courant d'hydrogène.	0,45 ₂
Cylindre réchauffé et refroidi dans le courant d'hydrogène, puis réchauffé au feu de forge. .	0,41
Cylindres réchauffés dans le courant d'hydrogène et trempés	0,21 ₂ et 0,32 ₇

γ. Chauffage au feu de forge.

	Carbone pour 100.
Témoin à l'état naturel.	0,90
Cylindres réchauffés au feu de forge et trempés. .	0,48 ₇ et 0,44
Cylindres trempés avec les précédents, puis recuits rapidement au feu de forge.	0,61 ₇ et 0,63

δ. Chauffage dans le vide sec avec trempe au mercure. — La figure 14 (Pl. I) montre la disposition de l'appareil employé et comment on s'est servi, pour la trempe dans le vide, d'un gros tube manométrique.

Témoin à l'état naturel.	0,52
Cylindres réchauffés et refroidis dans le vide. . .	0,50 et 0,49
Cylindres réchauffés dans le vide et trempés au mercure.	0,34 et 0,33

Ces essais prouvaient bien, de la façon la plus nette, que la trempe diminue énormément la teneur en carbone indiquée par la méthode Eggertz.

(c) Le carbone manquant avait-il disparu? (*) Non, car :

en même temps que les essais et dans des conditions rigoureusement identiques.

Les aciers étalons sont au nombre de quatre, qui contiennent respectivement 0,16-0,20-0,54 et 0,85 de carbone.

Le premier fournit les types de 0,05 à 0,15;

Le deuxième, les types de 0,20 à 0,30;

Les deux derniers, indifféremment, les types de 0,30 à 0,90.

Pour les aciers à outils et les fontes, on a des étalons spéciaux.

(*) M. Forquignon, dans son remarquable mémoire (Recher-

1° Un recuit, même de peu de minutes, détermine un retour important (essais γ);

2° Un fil d'acier du poids de 7^{gr},1196 recuit pendant 5 minutes dans l'hydrogène, dans les mêmes conditions que ci-dessus, ne perdit que 0^{gr},0005, soit 0,007 de carbone p. 100, en admettant que cette perte soit due tout entière au carbone;

3° Une série de dosages comparatifs faits, par les méthodes Eggertz et Boussingault, sur le même acier, a donné :

	Méthodes	
	Eggertz.	Boussingault.
Acier naturel.	0,50	0,49 ₂
Le même trempé	0,32 ₅	0,52
Le même, d'abord trempé, puis recuit rapidement au feu de forge et refroidi dans les cendres.	0,48	0,53 ₇
Le même écroui (*).	0,52	

(d) Donc la trempe modifie le carbone; mais pourquoi le carbone de trempe échappe-t-il à la méthode Eggertz?

Ou bien il est devenu insoluble dans l'acide azotique;

Ou bien il s'y dissout, mais en donnant une coloration plus faible que le même poids de carbone de recuit;

ches sur la fonte malléable et le recuit des aciers, *Annales de ch. et de phys.*, 5^e série, t. XXIII), a montré que l'hydrogène et l'azote, au rouge, enlèvent lentement du carbone à l'acier. Mais, dans nos expériences, qui ne duraient que quelques minutes, ce départ était insignifiant. La volatilisation du carbone est donc précédée d'une modification très rapide que M. Forquignon a d'ailleurs mise en évidence pour le cas de l'hydrogène. Le fait que les aciers recuits dans ce gaz ou dans l'azote se comportent vis-à-vis de l'acide azotique comme les aciers trempés, doit être retenu. Les aciers fondus contiennent toujours une quantité notable d'hydrogène occlus qui pourrait bien jouer un rôle important dans la diffusion du carbone.

(*) Il faut noter que l'écrouissage n'agit en aucune façon à la manière de la trempe, comme la théorie de Caron l'exigerait.

Ou enfin il est éliminé à l'état gazeux.

La première hypothèse, bien qu'elle ait été adoptée par Jullien et par M. Woodcock, est inacceptable; le diamant et le graphite sont insolubles dans tous les acides, et les aciers trempés ne laissent aucun résidu carbonéux.

La seconde, celle des deux matières colorantes, l'une brune et l'autre verdâtre, a été admise par M. Stead, et, de notre côté, nous l'avions proposée d'abord; il nous a paru cependant qu'elle n'était pas suffisante. Les aciers trempés donnent une coloration affaiblie, mais normale, et les tons verts que l'on rencontre parfois doivent être attribués, croyons-nous, aux conditions de l'attaque plutôt qu'aux modifications du carbone.

Reste la troisième hypothèse que nous allons contrôler expérimentalement.

(e) Si l'on suit attentivement l'attaque d'un même acier naturel et trempé par l'acide azotique à 24° B. (25^{cc} d'acide par 0^{gr},500 de métal), voici ce que l'on observe :

Les fioles étant placées dans un bain d'eau à 15° pour diminuer l'élévation de température, le fer se dissout d'abord en 5 ou 6 minutes avec un dégagement abondant de vapeurs rutilantes. A ce moment, *les deux liqueurs sont presque incolores.*

L'acier trempé a laissé au fond du vase une substance d'un noir intense qui se dissout, presque instantanément si l'on agite, en 3 ou 4 minutes au repos, et colore le liquide en brun *foncé*; pas de dégagement de gaz; il reste finalement en suspension un *faible* précipité brun gélatineux qui ne se dissout à froid qu'avec une très grande lenteur.

L'acier naturel, après la dissolution du fer, ne montre au fond du verre qu'un *léger* dépôt noir, d'ailleurs identique à celui de l'acier trempé et qui se dissout de même très rapidement en donnant à la liqueur une *assez faible*

coloration. En revanche, d'*abondants* flocons brun noir (*) nagent dans la liqueur et se transforment progressivement en une matière gélatineuse d'un brun plus clair, semblable à celle que donne l'acier trempé, mais *beaucoup plus volumineuse*.

Si l'on filtre les précipités indissous à froid et qu'on les traite à 100° par une nouvelle quantité d'acide azotique de densité 1,20 (25°), tous deux se dissolvent sans dégagement sensible de gaz et donnent des liqueurs brunes inégalement colorées, l'intensité des colorations paraissant en rapport avec le volume des résidus attaqués.

Chaufions maintenant à 100° les premières liqueurs brunes dont nous avons séparé par filtration la partie insoluble; toutes deux pâlisent avec dégagement de gaz; mais la solution de l'acier trempé pâlit relativement beaucoup plus que celle de l'acier naturel; la production des gaz y est plus tumultueuse et y paraît plus abondante.

Si, au lieu de maintenir d'abord les fioles dans l'eau fraîche, on les chauffait immédiatement à 100°, les phénomènes se succéderaient les mêmes et dans le même ordre, mais plus rapidement.

(f) Fixons les idées par quelques chiffres pris au hasard parmi beaucoup d'autres.

Soit un acier à 0,85 de carbone p. 100;

Soit L₁ les liqueurs colorées prises immédiatement après la dissolution du fer métallique et du carbone de

(*) Ces flocons, filtrés aussitôt après la dissolution du carbone de trempe et séchés à 100°, ont donné à l'analyse :

Carbone.	44,59
Eau.	22,50
Fer.	8,05
Oxygène et azote.	24,86
	100,00

Ils deviennent transparents et gélatineux en perdant leur fer.

trempe et séparées par filtration de la substance P insoluble à froid;

Soit L₂ les liqueurs colorées obtenues par la reprise à 100° des résidus P (*).

Toutes les solutions étant ramenées au volume normal de 50 centimètres cubes et comparées aux types, on trouve :

	Teneur apparente en carbone pour 100 d'acier.	
	Acier naturel.	Acier trempé (**).
L ₁ (attaque en 2 minutes à 100°). . .	0,56	0,91
L ₂ (attaque en 20 minutes à 100°). . .	0,56	0,26
	1,12	1,17

Si l'on compare de nouveau aux types les solutions L₁ et L₂, après 45^m et 1^h45^m de chauffage à 100°, on ne trouve plus que, après 45 minutes :

L ₁ (fort dégagement de gaz).	0,28	0,78	0,39	0,63
L ₂ (pas de dégagement de gaz).	0,50			

après 1^h45^m

L ₁ (léger dégagement de gaz).	0,24	0,69	0,30	0,48
L ₂ (pas de dégagement de gaz).	0,45			

Dans les conditions normales des essais Eggertz, on avait :

0,81	0,41
------	------

Ainsi, aussitôt après l'attaque complète, l'acier naturel et l'acier trempé donnent des colorations totales très voisines (1,12 et 1,17). C'est par le chauffage ultérieur des liqueurs L₁ que les différences s'accroissent, les liqueurs L₂ ne s'affaiblissant que peu et régulièrement.

(*) Quand l'attaque est faite à 15° cent. par de l'acide à 12° B., ou à 0° par l'acide normal à 24° B., les liqueurs L₂ deviennent verdâtres.

(**) Les échantillons soumis à la trempe avaient été laminés au préalable en tôle de 1 millimètre d'épaisseur; on obtiendrait des chiffres très différents à l'intérieur de barrettes épaisses.

(g) Il nous reste à montrer que la décoloration de L₁ est accompagnée d'une perte de carbone sous forme gazeuse.

Pour doser le carbone ainsi perdu, nous avons fait passer les gaz produits pendant une attaque normale et mélangés avec un excès d'oxygène dans un appareil essentiellement composé de :

- 1° Un réfrigérant;
- 2° Un tube rempli de tournure de cuivre et chauffé au rouge pour détruire les composés oxygénés de l'azote;
- 3° Un tube à oxyde de cuivre également chauffé au rouge pour achever au besoin la combustion du carbone;
- 4° Des tubes desséchants;
- 5° Une boule de Liebig à potasse dont l'augmentation de poids donnait l'acide carbonique produit.

On a vérifié le bon fonctionnement de l'appareil en attaquant du mercure par l'acide azotique, à la place de l'acier.

Nous avons trouvé, pour le même acier à 0,85 de carbone (moyennes de nombreuses expériences) :

	Naturel.	Trempé.
Carbone dégagé sous forme de gaz (pour 100 parties d'acier)	0,342	0,500
Reste en dissolution (par différence)	0,508	0,350
Total égal	0,850	0,850
La teinte de la liqueur accusait	0,772	0,480

On voit que le pouvoir colorant des solutions semble bien être proportionnel à la quantité de carbone qu'elles contiennent réellement.

Soit, en effet, k le coefficient par lequel il faudrait multiplier les teneurs apparentes pour obtenir la quantité réelle de carbone dissous; on doit avoir :

$$\begin{aligned} \text{Pour l'acier naturel.} & k \cdot 0,772 = 0,508 \\ \text{Pour l'acier trempé.} & k \cdot 0,480 = 0,350 \end{aligned}$$

d'où l'on tire les deux valeurs de k : 0,658 et 0,729, va-

leurs que l'on peut regarder comme suffisamment voisines, eu égard au genre des essais.

(h) Quant à la nature des gaz dans lesquels est engagé le carbone, elle paraît varier, dans une certaine mesure, avec les conditions de l'attaque.

Nous avons reconnu l'acide carbonique et le cyanogène (ou l'acide cyanhydrique). Mais ce n'est pas tout encore; une fraction du carbone est éliminée sous forme de gaz *non absorbables par la potasse (oxyde de carbone ou carbures d'hydrogène)*. Ces derniers paraissent caractéristiques du carbone de trempe.

En dosant par le chlorure de baryum ammoniacal l'acide carbonique réellement formé pendant l'attaque et, par le nitrate d'argent, le cyanogène, nous avons eu :

	Acier naturel.	Acier trempé.	
Carbone dégagé sous forme de	Acide carbonique.	0,215	0,246
	Cyanogène (ou CyH).	0,050	0,044
	Oxyde de carbone ou carbures d'hydrogène, par différence.	0,077	0,210
Total égal.	0,342	0,500	

La présence des gaz non absorbables par la potasse est très remarquable; nous l'avons vérifiée en interposant, dans l'appareil décrit plus haut, un tube à potasse entre le tube à cuivre et le tube à oxyde de cuivre; le deuxième tube de Liebig, à la sortie de la colonne comburante, augmentait de poids pour l'acier trempé et non pour l'acier naturel.

(i) Ces expériences donnent au moins quelques indications nouvelles sur les causes d'erreur de la méthode Eggertz (*) et font prévoir la possibilité d'y remédier.

(*) La méthode colorimétrique ne peut évidemment donner des résultats exacts que si le rapport numérique entre les deux formes du carbone est le même pour le type et les aciers qu'on lui compare; ce qui suppose le même état physique et une com-

En outre, elles précisent, par des caractères d'une assez grande netteté, la distinction déjà faite entre le carbone de trempe et le carbone de recuit.

Nous avons même réussi à trouver des composés du carbone qui se comportent, en présence de l'acide azotique, comme les deux variétés du carbone des aciers.

L'un est le carbure de fer obtenu par la calcination du ferrocyanure d'ammonium; l'autre, le charbon de sucre préparé à température modérée (*).

Le premier se conduit comme les carbures de l'acier (carbone de recuit); il est attaqué avec formation de matière brune gélatineuse presque insoluble dans l'acide froid de densité 1,20.

Le charbon de sucre se dissout au contraire à la façon du carbone de trempe (sauf les portions trop chauffées), et la solution brune se décolore en partie à 100°, avec dégagement de gaz.

Mais nous ne voulons pas insister sur des coïncidences peut-être fortuites; ce sont des termes de comparaison que nous avons cherchés et obtenus.

D. *Essais divers.* — Le carbone isolé des aciers par le bichlorure de mercure (méthode Boussingault) ne brûle pas toujours d'une façon continue; la combustion, commencée à une température déterminée, peut s'arrêter et ne reprendre qu'à une température plus haute: le carbone des aciers trempés semble s'allumer avant celui des aciers recuits. Mais c'est là une simple indication qui demande à être confirmée; il est très difficile, en pratique, de régler des combustions aussi délicates: peut-

position chimique analogue. Ainsi se trouvent justifiées les précautions empiriques indiquées par M. Deshayes.

(*) On arrête la calcination quand la masse charbonneuse a cessé d'être partiellement soluble dans l'eau.

être y arriverait-on en divisant par une matière inerte le résidu combustible.

Nous avons cherché encore si les hydrates de carbone formés pendant la dissolution des aciers dans le chlorure double de cuivre et d'ammonium ne présenteraient pas une composition différente, suivant qu'ils proviennent d'acier trempé ou d'acier naturel: MM. Schützenberger et Bourgeois (*) ont donné la formule $C^{11}, 3H^2O$ pour l'hydrate extrait d'une fonte blanche de Suède; M. Zabdovsky (**) a trouvé que le rapport entre le carbone et l'eau variait suivant les produits essayés: on pouvait espérer que les divergences s'expliqueraient, comme celles de la méthode Eggertz, grâce au carbone de trempe. Cependant nous n'avons rien trouvé de concluant: le même acier, trempé et recuit, fournit des produits quelque peu dissemblables, mais dont la composition est trop voisine pour que les différences constatées soient bien certaines, quand il s'agit de corps hygroscopiques et qu'on amène difficilement à un état d'hydratation bien défini.

E. *Conclusions.* — Les expériences que nous venons de décrire ou de rappeler nous conduisent toutes à cette conclusion, que, dans les fers carburés, le carbone généralement appelé « combiné » forme deux variétés distinctes:

1° *Le carbone réellement combiné au fer ou carbone de recuit, ainsi nommé parce qu'il domine dans l'acier recuit où il constitue le ciment;*

2° *Le carbone de trempe, dissous probablement dans le fer, en relations peut-être avec l'hydrogène occlus, mais non combiné au fer, dominant dans les régions*

(*) *Comptes rendus*, t. LXXX, p. 911.

(**) *Bulletin de la Société chimique*, t. XLI, p. 424.

Tome VIII, 1885.

périphériques des aciers trempés, et disséminé dans les noyaux cellulaires.

Les composés du fer avec le carbone, mal définis encore, qui contiennent le carbone de recuit, possèdent les propriétés communes suivantes :

Ils sont difficilement attaquables soit par le bichromate de potasse additionné de 5 p. 100 d'acide sulfurique (Abel et Deering), soit par l'acide chlorhydrique étendu au pôle positif d'une pile faible, ce qui permet de les isoler peu altérés; ils sont décomposés, avec formation d'hydrate de carbone, par le chlorure cuivrique; l'acide azotique (densité 1,20) les transforme en une matière brune gélatineuse très peu soluble à froid dans le même acide, assez soluble à chaud, sans dégagement visible de gaz et avec production de solutions brunes *stables*.

Le carbone de trempe disparaît dans le bichromate de potasse additionné de 5 p. 100 d'acide sulfurique; il s'hydrate dans l'attaque par la méthode de Weyl et par le chlorure cuivrique; il se dissout très rapidement à froid dans l'acide azotique (densité 1,20) en donnant une solution brune, *peu stable*, surtout à chaud, et qui se décolore en partie avec formation de dérivés gazeux du carbone.

Nos conclusions présentant de grandes analogies *de forme* avec celles de Caron et de M. Akerman, nous devons faire remarquer expressément qu'elles sont en réalité inverses. En effet, d'après la théorie de Caron, c'est le carbone de trempe qui devrait être combiné au fer et non le carbone de recuit; l'érouissage, qui devrait agir à la manière de la trempe, n'a, selon nous, aucune action sur l'état du carbone.

2^e PARTIE. — *Changements d'état du fer.*

A. *Généralités.* — La trempe et l'érouissage font

subir aux propriétés physiques des fers carburés des modifications tellement analogues que les principales théories proposées rapportent à un seul phénomène les effets de ces deux actions.

La cause unique est-elle un changement d'état du carbone? Caron l'avait supposé; mais nous venons de voir que les expériences postérieures n'avaient pas confirmé son opinion.

Il n'en est pas moins certain que le carbone joue un rôle dans la trempe, puisque le fer doux trempé ne durcit pas notablement. Mais, comme les modifications dues à la trempe peuvent être réalisées, bien qu'à un degré différent, par l'érouissage, et cela en l'absence d'aucune intervention du carbone, le carbone n'est pas forcément nécessaire à leur manifestation.

Nous sommes donc amenés à examiner une autre théorie dont l'origine est peut être assez lointaine (*), mais qui a été formulée récemment avec une précision nouvelle par M. Tresca (**).

Cette théorie attribue à une transformation moléculaire du fer les effets de la trempe et de l'érouissage. C'est là, évidemment, une interprétation très satisfaisante; cependant, comme il n'est pas prouvé qu'on ait jamais réalisé intégralement, en pratique, la transformation dont il s'agit, comme la question se complique de la présence habituelle de plusieurs éléments étrangers et que les faits observés pouvaient bien souvent être expliqués par des considérations différentes, les deux variétés supposées du fer n'étaient pas spécifiées par les caractères absolus que présentent ordinairement les variétés isomériques d'autres corps.

(*) Voir *Théorie de la trempe*, par Jullien, chez Baudry et Noblet, Paris, 1865.

(**) *Comptes rendus*, XCIX, p. 351.

Les changements moléculaires des corps étant toujours accompagnés de modifications thermiques qui en sont peut-être, selon les idées modernes, le signe le plus certain, nous avons pensé que l'étude calorimétrique des effets de la trempe et de l'érouissage nous fournirait des renseignements utiles.

De là les essais suivants :

B. Étude calorimétrique des effets de la trempe et de l'érouissage sur l'acier.

(a) **Choix de la réaction.** — Il fallait mesurer les quantités de chaleur dégagées dans une même réaction par le même acier pris sous des états physiques différents.

La réaction que nous avons choisie est la dissolution du fer dans le chlorure double de cuivre et d'ammonium; cette dissolution se fait en peu de minutes, pourvu que le métal soit très finement divisé et ne laisse, à part l'hydrate de carbone de MM. Schützenberger et Bourgeois, aucun produit solide qui puisse arrêter l'attaque sans que l'expérimentateur en soit averti.

On pouvait craindre cependant que le chlorure cuivreux formé, en s'oxydant à l'air, ne vint fausser les résultats et n'obligeât à opérer en vase clos.

Pour évaluer cette cause d'erreur, nous avons attaqué 250 milligrammes de fonte de Suède très pure par 30 centimètres cubes d'une solution saturée de chlorure double de cuivre et d'ammonium. Après dix minutes d'exposition à l'air, nous avons titré la somme des chlorures ferreux et cuivreux par le permanganate de potasse; il fallut, pour arriver au rose permanent, 71 centimètres cubes de la liqueur titrée au lieu de 73,5, quantité théorique. Ainsi, la vingtième partie seulement du chlorure cuivreux s'était transformée en oxychlorure dans des conditions de temps et de dilution beaucoup plus défavorables que

celles où nous devions nous placer pour les mesures définitives. En outre, tous les essais étaient conduits de la même manière et il était facile de retrancher des élévations de température observées la part (directement mesurée) due à la dissolution du cuivre d'abord précipité par le fer. On pouvait donc opérer à l'air libre sans commettre d'erreur appréciable.

(b) **Choix et préparation des échantillons.** — Les échantillons choisis, au nombre de quatre, représentaient les termes principaux de la série des fers carburés produits par l'industrie :

- 1) Acier fondu extra-doux;
- 2) — — de dureté moyenne;
- 3) — — pour outillage;
- 4) Fonte blanche de Suède.

Leur composition chimique était la suivante :

	1	2	3	4
Carbone.	0,16 ₈	0,54 ₂	1,17	4,10
Silicium.	0,03 ₈	0,10 ₅	0,44	0,22 ₅
Soufre.	0,03 ₈	0,02 ₇	0,01 ₈	0,04
Phosphore.	0,02 ₄	0,05 ₈	0,03 ₈	0,01 ₈
Manganèse.	0,17	0,51	0,18	0,12
Fer (par différence).	99,56 ₂	98,75 ₈	98,15 ₉	95,49 ₇
	100,00	100,00	100,00	100,00

Des éprouvettes de 5 millimètres d'épaisseur furent trempées à l'eau froide (échantillons 2 et 3); d'autres de 20 × 20 millimètres furent amenées par un martelage à froid à la même épaisseur de 5 millimètres (échantillons 1, 2, 3); la fonte fut gardée telle quelle, c'est-à-dire trempée en coquille.

Sur chacune des éprouvettes convenablement préparées, on préleva, soit par broyage, soit à la lime, selon la dureté, de la poussière fine passant au tamis de soie n° 100; la poudre provenant des barreaux naturels fut portée graduellement au rouge et abandonnée à un re-

froidissement lent dans un courant d'hydrogène pur et sec (*).

L'acier extra-doux ne durcissant pas notablement par la trempe, il a paru inutile de l'essayer trempé.

(c) **Conditions des expériences.** — On s'est servi du calorimètre à enceintes de M. Berthelot (vase en platine de 600^{cc}) et de thermomètres de Baudin à échelle centésimale.

L'agitation présentait des difficultés particulières; il ne suffisait pas d'agiter le liquide, il fallait encore y mettre en suspension une matière solide très dense et détacher des fragments métalliques l'hydrate de carbone qui les enduit au fur et à mesure de l'attaque. Nous avons eu recours à un agitateur spécial formé d'une feuille de platine emmanchée à frottement sur le thermomètre et mise en mouvement par la rotation de cet instrument; la base de la feuille de platine, repliée suivant le fond du calorimètre, frottait et brassait la poussière métallique tandis que les côtés, courbés en ailes hélicoïdales, rendaient uniforme la température du milieu.

La solution du chlorure double fut préparée en dissolvant dans 12 litres d'eau 3^k,400 de chlorure cuivrique du commerce représentant 2^k,860 de sel pur hydraté (CuCl², H²O) et 2 kilogrammes de sel ammoniac; on ajouta de l'ammoniaque (105^{cc}) jusqu'à formation d'un précipité permanent, et on eut en tout 14^{lit},880 de liqueur. Après refroidissement à 9° et dépôt de cristaux, la partie claire fut décantée pour les essais; sa densité était 1,1684 à

(*) On ne pouvait considérer comme recuite la limaille provenant de barreaux recuits, puisque la lime produit un écrouissage; d'ailleurs le recuit au feu de forge était impossible pour de la limaille et le recuit dans le vide peu pratique; de là l'emploi de l'hydrogène qui n'est cependant pas à l'abri de toute critique, malgré le peu de durée de l'opération. (Voir § 1, 1^{re} partie C, b.)

12°,5; elle devait donc contenir, d'après les tables de Gerlach et de Franz (*) environ

12 p. 100 en poids de CuCl²
9,55 — de AzH⁴Cl.

(d) **Valeur en eau des constantes.** — Toutes les expériences ont été faites en dissolvant 1^g,500 de métal dans 500^{cc} de la solution de chlorure double. La capacité calorifique de cette dernière n'est pas exactement connue, mais on en peut avoir une valeur approchée, si l'on considère le sel double de cuivre et d'ammonium comme un *mélange* des deux sels composants dont les chaleurs spécifiques ont été déterminées par M. Berthelot à différents degrés de dilution. On trouve ainsi 0,791.

Si l'on admet ce chiffre, nous avons, pour la valeur en eau des constantes dans nos essais :

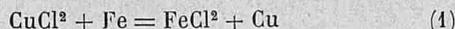
	Poids.	Chaleurs spécifiques.	Valeurs en eau.
Calorimètre (en platine)	147 ^{gr} ,003	0,0324	4 ^{gr} ,763
Agitateur —	24 ^{gr} ,952	»	0 ^{gr} ,808
Thermomètre (partie immergée).	»	»	0 ^{gr} ,563
Métal (considéré comme fer)	1 ^{gr} ,500	0,1138	0 ^{gr} ,171
Solution (500 ^{cc} moins la partie adhérente aux parois de la fiolle égouttée)	384 ^{gr} ,206	0,791	462 ^{gr} ,106
Total	»	»	468 ^{gr} ,411

(e) **Expériences et résultats.** — Le maximum de température était généralement atteint en 4 ou 5 minutes; pour les aciers écrouis qui se mouillent difficilement et pour la fonte, la réaction était plus lente et a duré jusqu'à 10 ou 11 minutes.

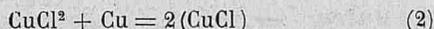
On sait que cette réaction se fait en deux temps.

(*) *Agenda du chimiste*, 1884, tables 83 et 96.

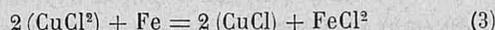
Le cuivre est d'abord déplacé par le fer :



et forme un précipité qui se dissout rapidement dans le chlorure cuivrique en excès :



Si l'on ajoute membre à membre les équations (1) et (2) on a finalement



Les élévations de température observées correspondent à la réaction totale (3); elles sont consignées dans le tableau α , corrections faites par la méthode de Regnault et Pfandler :

TABLEAU α .

MÉTAL.	RECUIT.	ÉCROUI.	TREMPÉ.
1.	$\left. \begin{array}{l} 2^{\circ},400 \\ 2^{\circ},415 \end{array} \right\} 2^{\circ},408$	$\left. \begin{array}{l} 2^{\circ},502 \\ 2^{\circ},505 \end{array} \right\} 2^{\circ},504$	
2.	$\left. \begin{array}{l} 2^{\circ},368 \\ 2^{\circ},364 \end{array} \right\} 2^{\circ},366$	$\left. \begin{array}{l} 2^{\circ},461 \\ 2^{\circ},463 \end{array} \right\} 2^{\circ},462$	$\left. \begin{array}{l} 2^{\circ},470 \\ 2^{\circ},484 \end{array} \right\} 2^{\circ},477$
3.	$\left. \begin{array}{l} 2^{\circ},153 \\ 2^{\circ},142 \end{array} \right\} 2^{\circ},148$	$\left. \begin{array}{l} 2^{\circ},286 \\ 2^{\circ},256 \end{array} \right\} 2^{\circ},271$	$\left. \begin{array}{l} 2^{\circ},326 \\ 2^{\circ},291 \end{array} \right\} 2^{\circ},309$
4.	$\left. \begin{array}{l} 1^{\circ},662 \\ 1^{\circ},668 \end{array} \right\} 1^{\circ},665$		$\left. \begin{array}{l} 1^{\circ},877 \\ 1^{\circ},879 \end{array} \right\} 1^{\circ},878$
Cuivre (*).	0 ^o ,210	0 ^o ,210	

(* On voit que le cuivre ne gagne pas de chaleur par l'érouissage, bien que ses propriétés physiques soient modifiées par cette opération.

Si l'on retranche des moyennes du tableau α l'élévation de température calculée produite par la dissolution du cuivre, il reste les élévations de température correspondant au déplacement simple du cuivre par le fer, selon l'équation (1). Ces différences sont réunies dans le tableau β .

TABLEAU β (*).

Métal.	Recuit.	Écroui.	Trempé.
1.	2 ^o ,451	2 ^o ,247	»
2.	2,411	2,207	2 ^o ,222
3.	1,895	2,018	2,056
4.	1,449	»	1,632

Pour mieux dégager le phénomène qu'il s'agissait d'étudier, nous donnons ci-dessous (tableau γ) les rapports des élévations de température mesurées à l'élévation de température donnée, pour chaque type, par la limaille recuite :

TABLEAU γ .

Métal.	Recuit.	Écroui.	Trempé.
1.	1,000	1,045	»
2.	1,000	1,045	1,052
3.	1,000	1,065	1,084
4.	1,000	»	1,150

(*) Les résultats bruts sembleraient indiquer que les fers carburés sont constitués avec dégagement de chaleur, bien que MM. Troost et Hautefeuille aient démontré le contraire (*loc. cit.*). Cette divergence apparente peut être attribuée à l'hydratation du carbone avec absorption de chaleur.

Nota. Nous pouvons traduire nos résultats en calories en prenant le chiffre 0,791 pour valeur approchée de la chaleur spécifique de la solution et admettant que les quantités de chaleur produites ou absorbées par la formation ou la décomposition des sels doubles, quantités peu importantes et de signes contraires, se balancent et peuvent être négligées. On trouve ainsi :

TABLEAU δ .

Quantités de chaleur absorbées, dans les échantillons considérés, par la trempe ou l'érouissage de l'atome de fer (Fe = 56^g).

Métal.	Écroui.	Trempé.
1.	1.686 cal.	»
2.	1.699	1.966
3.	2.191	2.868
4.	»	3.903

Nous avons d'ailleurs un moyen simple de contrôler l'exactitude des hypothèses qui ont été faites à l'origine de ces calculs :

La transformation moléculaire du fer n'étant que partielle, et variable avec la préparation de chaque échantillon, ces chiffres n'ont évidemment qu'une valeur contingente. Mais l'ensemble des résultats n'en est pas moins concluant.

Partout, la trempe, comme l'écroissage, s'accuse par une augmentation de chaleur qui croit dans le même sens que la teneur en carbone.

Nous pensons donc que l'on peut regarder comme établie l'existence de deux variétés allotropiques du fer.

Fer α dominant dans l'acier recuit.

Fer β mélangé au fer α dans les aciers trempés ou écrois, en proportions variables selon l'intensité des causes qui l'y ont formé.

Quel appui donnent à ces conclusions les modifications simultanées apportées par la trempe et l'écroissage à d'autres propriétés physiques des aciers? C'est ce que nous allons discuter rapidement en ajoutant aux résultats connus plusieurs expériences inédites.

C. Effets de la trempe et de l'écroissage sur quelques propriétés des aciers.

(a) **Malléabilité.** — Nous n'avons pas à insister sur les variations de la limite élastique, de la charge de

il suffit de déterminer, en partant de nos chiffres, la chaleur connue de substitution du fer au cuivre.

1^{er},500 d'acier extra-doux recuit, que nous considérerons comme fer pur, nous a donné une élévation de température de 2^o,154 (tableau β). Soit, pour 1 atome de fer remplaçant 1 atome de cuivre, une production de

37.614 calories.

Or, d'après M. Berthelot, la réaction



dégage -62.600 +100.000 = + 37.400 cal.

On voit que l'accord est satisfaisant.

rupture, de la striction et de l'allongement. Ces phénomènes sont de beaucoup les plus caractéristiques et les mieux étudiés. Ce sont eux qui ont frappé d'abord les observateurs et que les différentes théories se sont spécialement proposé d'expliquer.

(b) **Densité.** — Les transformations moléculaires sont généralement accompagnées d'un changement de densité. En est-il de même pour l'acier? La question a été longtemps discutée. Réaumur (*) avait trouvé que, après trempe, l'acier augmentait de volume, tandis que le fer revenait à son volume primitif. Mais Karsten (**) n'est pas certain que la dilatation de l'acier soit un phénomène constant. Caron (***) a vérifié, pour plusieurs échantillons d'acier, la diminution de densité après trempe. Tout récemment enfin, M. Carl Fromme (****), dans une intéressante étude, a examiné toute une série de produits, depuis le fer déposé par la pile jusqu'à la fonte blanche; les conclusions sont nettes: si on soumet l'acier ou la fonte blanche à une succession de trempes et de recuits alternatifs, la densité diminue à chaque trempe et se relève après chaque recuit (*****) sans cependant revenir à sa valeur initiale; le résultat final est donc une augmentation très sensible de volume. Il n'en est pas de même pour le fer doux: les échantillons éprouvés ont donné des résultats de signes contraires; en moyenne, il y aurait plutôt diminution de volume après trempe.

L'écroissage, qui augmente la densité du cuivre et celle de l'argent, paraît diminuer celle de l'acier. Nous

(*) *L'art de convertir le fer en acier*, p. 339.

(**) T. III, p. 380.

(***) *Comptes rendus*, LVI, 211.

(****) *Wied. Ann.*, 1884, 7^e livraison.

(*****) Dans les expériences de M. Fromme, les recuits sont des réchauffages rapides qui ne ramènent pas complètement le métal à son état primitif.

avons tréfilé un échantillon de machine A₉ Creusot (Résistance = 48 kil.) dont la densité était

7,839 à 15° cent.

Après la première passe, le diamètre ayant été réduit de

5^{mm},4 à 4^{mm},4, la densité s'était abaissée à 7,836;

après la deuxième passe, le diamètre ayant été réduit de

4^{mm},4 à 3^{mm},45, la densité s'était abaissée à 7,791;

elle a oscillé, après les passes suivantes (3^{mm},45 à 0^{mm},4) entre 7,796 et 7,781.

Mais les diminutions de densité observées pouvaient être attribuées, pour la trempe, à la modification du carbone (*) et, pour l'écroutissage, à la dislocation du ciment que nous avons constatée (chap. I, D. f.) et qui crée peut-être dans le métal écroui des solutions de continuité d'un volume total appréciable.

Cependant, si l'on considère que, dans les transformations allotropiques, l'augmentation de volume correspond, en général, à une absorption de chaleur, on trouvera naturel de rapporter à la même cause, au moins en partie, la diminution de densité des aciers trempés ou écrouis.

(c) **Dilatabilité.** — Nous empruntons au traité de physique de M. Daguin (**) les coefficients de dilatation linéaire, entre 0 et 100°, trouvés par divers observateurs pour les métaux qui nous occupent.

D'après Lavoisier et Laplace :

Acier non trempé.	0,000.010.792
— trempé jaune, recuit à 65°	12.395
Fer doux forgé.	12.204
— rond passé à la filière.	12.350

(*) Telle est l'interprétation de M. Fromme, qui adopte la théorie de Caron.

(**) 3^e édition, II, 168.

D'après Smeaton :

Acier poule.	11.500
— trempé.	12.250
Fer.	12.583

D'après Troughton :

Acier.	11.918
Fer passé à la filière.	14.401

Ces chiffres paraissent quelquefois contradictoires, ce qui n'a rien de surprenant puisqu'il s'agit d'échantillons très peu définis. Mais il semble prouvé que la trempe, pour l'acier, le passage à la filière pour le fer, ont une influence marquée sur le coefficient de dilatation.

(d) **Pouvoir thermo-électrique et conductibilité électrique.** — MM. V. Strouhal et C. Barus (*) ont établi que le pouvoir thermo-électrique et la conductibilité électrique d'un acier varient, absolument comme la dureté, avec l'énergie de la trempe, la température et la durée du recuit; leurs valeurs peuvent donc caractériser l'état physique d'un échantillon donné.

L'une des plus intéressantes conclusions de ce travail est que le recuit à 100° et même à 66°, pourvu qu'il soit prolongé, n'est pas sans influence sur l'acier trempé; pour chaque température de recuit, il tend à s'établir un état d'équilibre qui dépend de cette température.

(e) **Puissance magnétique** — On sait, par les travaux de MM. Jamin, Trève et L. Durassier, Ryder, Hughes et de plusieurs autres physiciens, que la puissance magnétique permanente ou temporaire d'un acier dépend :

1° De sa composition chimique ;

2° De son état physique tel que l'ont constitué les diverses opérations auxquelles il a pu être soumis.

(*) *Ueber Anlassen des Stahls und Messung seines Hartezustandes*, Würzburg, 1880.

Si l'on remarque que le fer doux prend le maximum d'aimantation temporaire, mais n'en garde presque rien après l'interruption du courant, tandis que, d'après M. Jamin (*), certains aciers d'une dureté extrême sont, après la trempe vive, rebelles au magnétisme; si, d'autre part, on rapporte ces phénomènes à l'allotropie du fer, on sera conduit peut-être à attribuer la force coercitive, non pas à l'un ou l'autre des deux états isomériques, mais bien à leur mélange et au rapport suivant lequel ils se partagent.

(f) **Solubilité dans les acides.** — Gruner (**) a montré que, dans l'eau de mer, la fonte blanche se dissout plus vite que l'acier.

Dans l'eau acidulée, d'après les recherches du même savant, la fonte blanche s'attaque plus que les aciers, les aciers manganésés plus que les aciers carburés, les aciers durs plus que les doux, un acier trempé plus que le même recuit.

Quelques expériences personnelles nous ont donné des résultats analogues et nous n'en parlerions pas si nous n'avions eu l'occasion de remarquer une particularité assez curieuse : sur certains barreaux *tremvés* d'acier dur ou demi-dur, l'acide sulfurique étendu (1 vol. de SO^3H^2 pour 4 d'eau) grava des figures en forme de rosaces; ces figures se rattachent peut-être à l'existence de zones alternativement condensées et dilatées que M. Fromme (***) a signalées dans ses fils d'acier trempé; elles accusent tout au moins de notables inégalités dans la répartition du carbone ou dans la transformation moléculaire de fer après trempe.

Tous les acides attaquent beaucoup plus rapidement

(*) *Comptes rendus*, LXXVII, 89.

(**) *Comptes rendus*, XCVI, 495.

(***) *Loc. cit.*

les aciers écrouis que les mêmes aciers recuits. Voici quelques essais sur des fils d'acier fondu extra-doux de 1 millimètre de diamètre.

1° Dans l'acide chlorydrique étendu de 4 volumes d'eau à 21°,5 cent.;

Le fil recuit avait perdu, en 2 ^h 45 ^m . . .	6 ^{ms} sur 630
— écroui — —	321 —

2° Dans l'acide chlorydrique étendu de 9 volumes d'eau, la différence est encore plus grande;

3° Dans l'acide azotique à 24° B., la température s'élevant de 20 à 35 et 33° cent., le fil recuit de 630 milligrammes s'est dissous en 17 minutes, le fil écroui de même poids en 8 minutes;

4° Dans l'acide azotique à 36° B. le fil recuit devient passif, le fil écroui s'attaque régulièrement.

5° Dans l'acide sulfurique étendu de 4 volumes d'eau, à 20° cent.;

Le fil recuit avait perdu, en 1 ^h 45 ^m . . .	13 ^{ms} sur 630
— écroui — —	240 —

6° Dans l'acide acétique étendu de 3 volumes d'eau, vers 20°.

Le fil recuit avait perdu en 9 jours. . .	25 ^{ms} sur 630
— écroui — —	138 —

La dissolution rapide de l'acier écroui est certainement due, pour une grande part, à la multiplication des surfaces d'attaque que la rupture du ciment offre à l'acide; on peut supposer que la diffusion du carbone dans l'acier trempé produit quelque chose d'analogue; cependant, il est permis de penser que la chaleur en excès retenue par les aciers trempés ou écrouis contribue à en activer l'attaque. Telle variété de soufre est caractérisée par sa solubilité dans le sulfure de carbone : on pourrait aussi,

théoriquement du moins, concevoir un réactif qui attaquerait le fer modifié par la trempe et n'aurait pas d'action sur le fer recuit.

(g) **Structure.** — On admet généralement que, dans l'acier, la trempe fait passer le fer à l'état amorphe et Tchernoff prête à cette opinion l'appui de sa haute autorité. Il est au moins certain que la trempe vive de l'acier en fait disparaître les cellules composées; pourtant, les fontes spéculaires, manganésées ou non, bien que trempées en coquille et d'une extrême dureté, sont évidemment cristallisées: la question ne nous paraît pas complètement résolue.

D. **Conclusions.** — Nous pouvons maintenant définir, avec quelque précision, les caractères distinctifs du fer α et du fer β .

Quand le fer passe de la variété α à la variété β ,

- Il absorbe de la chaleur;
- Sa malléabilité diminue énormément;
- Sa densité diminue;
- Son coefficient de dilatation augmente (?);
- Ses constantes thermoélectriques diminuent;
- Sa conductibilité électrique diminue;
- Ses réactions chimiques deviennent plus énergiques.

Le fer passe plus ou moins complètement de la variété α à la variété β :

1° Par tout martelage ou toute pression produisant une déformation permanente à une température inférieure au rouge sombre;

2° Par le refroidissement rapide, à partir d'une température supérieure au rouge sombre, mais seulement en présence du carbone et de quelques autres corps (manganèse, tungstène) qui produisent, soit directement, soit par une action secondaire sur le carbone, des effets analogues sur les propriétés de l'acier.

Réciproquement, le fer revient par le recuit de l'état β à l'état α , et cela d'autant plus complètement que la durée du recuit est plus longue et sa température plus élevée.

Il est presque inutile d'ajouter que ces transformations, comme toutes celles du même ordre, doivent tendre, dans chaque cas particulier, vers un équilibre défini.

§ 2. — Fer, carbone et silicium.

La combinaison « fer, carbone et silicium » n'est pratiquement réalisée que dans certaines fontes au bois et les aciers au creuset qui en dérivent; encore la proportion du silicium est-elle assez faible dans ces derniers.

On sait que le silicium, dès qu'il atteint un certain minimum variable d'ailleurs avec les conditions du refroidissement (soit 0,75 p. 100 environ pour des gueuses moyennes coulées en coquille), détermine dans les fontes un dépôt de graphite qui s'ajoute naturellement au ciment. La formation du graphite suppose l'existence, dans le métal fondu, de carbone libre qui a pu prendre un état moléculaire particulier; le silicium nous apparaît donc comme déplaçant le carbone de ses combinaisons avec le fer ou, ce qui revient au même, s'opposant à la formation de ces combinaisons. Réciproquement, dans le convertisseur Bessemer et le four à puddler, le graphite disparaît à mesure que se fait l'oxydation du silicium.

Ceci est conforme aux données thermochimiques; car MM. Troost et Hautefeuille ont trouvé que le silicium et le fer forment une association peu stable (*), il est vrai, mais exothermique, tandis que celle du fer avec le carbone serait endothermique.

(*) *Comptes rendus*, LXXXI, 264.

Tome VIII, 1885.

On peut donc considérer comme très probable que le siliciure de fer joue le rôle d'enveloppe dans la cellule des fontes grises pures.

D'après M. Woodcock (*), le silicium abaisserait les teneurs en carbone indiquées par la méthode Eggertz?

M. Colson (**) a préparé un carbosiliciure de fer Fe^eSi^2C qu'il serait intéressant de rechercher dans les produits de la métallurgie.

§ 3. — Fer, carbone et soufre.

M. Rollet (***) en étudiant la méthode Boussingault (****) pour le dosage du soufre dans les aciers, a constaté que ce corps n'est pas toujours intégralement dégagé sous forme d'hydrogène sulfuré par les acides chlorhydrique ou sulfurique, que l'argent précipité ne l'est pas entièrement à l'état de sulfure et qu'il reste du soufre dans le résidu de l'attaque.

Le tableau ci-joint montre bien cette triple cause d'erreur :

		ACIER BESSEMER.		
		Avant décarburation.	Après décarburation.	Après recarburation.
Attaque par l'acide sulfurique étendu de 5 vol. d'eau.	Argent métallique pesé (pour 4 gr. de métal)	gr. 0,008 ₄	gr. 0,030	gr. 0,019
	D'ou, soufre calculé p. 100 d'acier.	0,03 ₁	0,11 ₁	0,06 ₉
	Soufre réellement contenu dans le précipité, pour 100 d'acier. . . .	0,00 ₉	0,02 ₄	0,01 ₄
	Soufre réellement dégagé (par l'a- cide chlorhydrique) p. 100 d'acier.	0,02 ₁	0,03	0,02 ₆
	Soufre total réel.	0,04 ₂	0,04 ₃	0,04 ₅

(*) *Loc. cit.*

(**) *Comptes rendus*, XCIV, 1316.

(***) *Archives du laboratoire du Creusot*, 1878.

(****) *Annales de chimie et de physique*, 5^e série, V, 174.

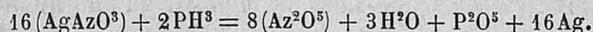
Il résulte de ces chiffres que :

1° Une portion du soufre n'est pas à l'état de proto-sulfure de fer ou de manganèse, puisque ces sulfures sont entièrement décomposables par les acides ;

2° Que le carbone (ou le manganèse) a une influence sur la proportion de soufre dégagée. (Comparer le même acier avant ou après la décarburation, avant et après la recarburation.)

§ 4. — Fer, carbone et phosphore.

A. — Nous venons de voir, à propos du dosage du soufre, que, dans l'attaque d'un acier par l'acide chlorhydrique, l'argent précipité ne l'est pas entièrement à l'état de sulfure. Les écarts sont encore plus sensibles et peuvent devenir énormes si l'on remplace la solution azotique de nitrate d'argent par une solution ammoniacale. Dans ces conditions, l'excédent du poids est dû à de l'argent métallique réduit du nitrate par de l'hydrogène phosphoré suivant l'équation



(d'où l'on déduit que 1 de phosphore à l'état d'hydrogène phosphoré précipite 27,9 d'argent.)

Nous avons déterminé la quantité d'argent réduit, c'est-à-dire la proportion d'hydrogène phosphoré dégagé par une série de produits très divers, en faisant d'abord passer les gaz dans une solution ammoniacale de sulfate de cadmium où l'hydrogène sulfuré est absorbé.

Ci-dessous les résultats obtenus en dissolvant 4 grammes de chaque métal dans 35 centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré et chauffant progressivement jusqu'à l'attaque complète :

MÉTAUX ESSAYÉS.	COMPOSITION CHIMIQUE POUR 100.					PHOSPHORE DÉGAGÉ à l'état de PH ³ calculé d'après Ag réduit.
	C	Mn	Si	S	Ph	
1. Acier Bessemer acide :						
avant Spiegel (A2).	»	»	»	»	0,06 ₅	0,04 ₄
2. Le même après	»	»	»	»	0,06 ₅	0,02 ₈
3. Acier Bessemer basique :						
avant Spiegel (3304).	»	»	»	0,03 ₈	0,04 ₆	0,03
4. Le même après	»	»	»	0,02 ₂	0,04 ₆	0,01 ₈
5. Acier Martin avant Spiegel (4394).	»	»	»	»	0,03 ₃	0,02 ₂
6. Le même, après	0,49	0,37	0,07 ₅	0,02 ₄	0,04 ₁	0,01 ₄
7. Le même, trempé	0,49	0,37	0,07 ₅	0,02 ₄	0,04 ₁	0,01 ₃
8. Acier très doux rouverin	0,48	0,10	»	0,06	0,07	0,04 ₉
9. Acier diamant n° 1.	1,17	0,18	0,44	0,01 ₈	0,03 ₃	0,00 ₅
10. Acier Bessemer ordinaire n° 3186.	0,50	0,59	0,11	0,04 ₂	0,06 ₅	0,03
11. Acier Bessemer ordinaire n° 3187.	0,49	0,74	0,23	0,02 ₂	0,06 ₅	0,02 ₆
12. Fer brut	»	»	»	»	0,05 ₅	0,04 ₁
13. Fer brûlé de la Moselle, en pseudo-cristaux	0,11	traces	0,05 ₈	0,03 ₃	0,81	0,14 ₇
14. Spiegel	4,00 env.	19,84	»	»	0,14 ₅	0,00 ₄
15. Fonte Bessemer basique	3,00 env.	2,16	1,71	0,13	2,50 env.	0,03 ₇
16. Fonte d'affinage de la Moselle	3,00	0,07	0,37	0,48	1,75	0,03 ₈

Ce tableau montre nettement qu'il n'y a aucune relation entre la teneur totale en phosphore et la fraction dégagée sous forme de PH³; cette dernière dépend essentiellement de la teneur en carbone : en effet, les fontes les plus phosphoreuses ne laissent dégager qu'une quantité insignifiante d'hydrogène phosphoré, tandis que les fers et les aciers doux en émettent, dans les mêmes circonstances, des quantités relativement importantes; le même acier donne plus d'hydrogène phosphoré après décarburation qu'après recarburation; le manganèse est d'ailleurs sans influence, puisque le spiegel et la fonte de la Moselle se comportent de la même façon.

Une fraction du phosphore semble donc être combinée au fer avec lequel elle formerait un phosphure partiellement décomposable par l'acide chlorhydrique (), tandis*

(*) La quantité de PH³ dégagé varie, toutes choses égales d'ailleurs, avec la concentration de l'acide.

que le surplus serait engagé dans une combinaison complexe avec le carbone de recuit, le carbone du ciment.

B. — La méthode Weyl fournit des indications identiques.

Si l'on dose le phosphore dans les résidus qu'elle isole, on trouve, pour les mêmes échantillons que nous avons déjà examinés (ch. II, § 1, B).

ACIER.	FORGÉ et refroidi sans précautions.	FORGÉ et recuit.	TREMPÉ à l'eau froide.	TREMPÉ et recuit.	MOYENNE.
Résidu sec pour 100 d'acier. Phosphore dosé pour 100 de résidu sec.	3,31	4,11	1,62	4,14	
Phosphore calculé pour 100 d'acier.	0,84	0,64	1,94	0,76	
	0,02 ₈	0,02 ₆	0,03 ₁	0,03 ₁	0,02 ₉

La teneur moyenne du même acier est 0,04₁ et la portion dégagée sous forme de PH³ est égale à 0,01₃₅ (nos 6 et 7 du tableau de la page précédente).

Ainsi le résidu de la méthode Weyl renferme, pour le métal examiné, les 3/4 environ du phosphore, et l'acide chlorhydrique dégageait précisément le complément à l'état d'hydrogène phosphoré.

Le rapprochement de ces faits et la forme figurée du ciment nous autorisent à conclure, avec d'assez grandes probabilités, au partage du phosphore entre le noyau de la cellule et son enveloppe. Dans les fontes, la presque totalité serait engagée dans l'enveloppe, puisque l'acide chlorhydrique n'en dégage qu'une fraction négligeable; dans les fers, au contraire, une partie importante appartiendrait au noyau ou, du moins, aurait une existence indépendante.

MM. Deshayes et Woodcock attribuent au phosphore une influence sur les résultats de la méthode Eggertz; mais les deux observateurs ne sont pas d'accord sur le

signe de cette influence. Les causes directes ou indirectes qui agissent sur l'état du carbone et, par suite, sur la coloration des solutions nitriques, sont en réalité si nombreuses que cette contradiction n'a rien qui puisse étonner.

Dans le fer phosphoreux et l'acier Bessemer basique après décarburation et avant sursoufflage, la méthode Weyl sépare encore un résidu noir brûlant au-dessous de 100° , formé en partie de paillettes brillantes qui décomposent l'eau, en partie d'une substance amorphe et gélatineuse; l'analyse y trouve, avec un peu de carbone, du fer, du phosphore, de l'eau et de l'oxygène.

Ce curieux résidu mériterait d'être étudié de plus près. Il est pour nous un indice que certains phosphures de fer peuvent jouer dans la cellule, à défaut de proportions notables de carbone, le rôle d'enveloppe ordinairement réservé aux carbures.

§ 5. — Fer, carbone et manganèse.

Le manganèse, d'après MM. Troost et Hautefeuille, forme avec le carbone des composés constitués avec un grand dégagement de chaleur et par conséquent très stables. Il serait donc assez naturel de trouver des carbures de manganèse dans les fontes et les aciers qui contiennent ce métal.

Cependant de nombreuses expériences nous ont démontré que le manganèse est réparti avec une remarquable uniformité dans les lingots d'acier, tandis que le carbone, le soufre et le phosphore se concentrent vers la tête par un phénomène bien connu de liquation (*). Si

(*) Voir notamment les travaux de M. Snelus dans les Comptes rendus des séances de l'« Iron and steel Institute », *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, 2^e série, XI, 693.

le carbone était combiné au manganèse, tous deux devraient augmenter simultanément, ce qui n'a pas lieu.

Le manganèse ne s'accumule pas non plus dans les résidus de la méthode Weyl. Sept dosages nous ont donné en moyenne, dans ce résidu, 0,75 p. 100 de Mn pour l'acier que nous avons déjà étudié et qui en contenait 0,37 p. 100; c'est là une concentration peu importante et qui est en relation avec celle du soufre, comme nous le verrons plus loin, nullement avec celle du carbone. Pour un spiegel de Saint-Louis, le rapport du fer au manganèse a été trouvé, en chiffres ronds, de 9 à 1 dans le ciment, alors qu'il était de 10 à 1 dans le métal. Le ciment d'une fonte Bessemer à 3,84 p. 100 de Mn n'en contenait que 0,90 contre 18,40 de fer.

Les faits connus sont donc absolument contraires à l'existence de composés particuliers du manganèse et du carbone dans les fontes et les aciers et, en l'absence du silicium et du soufre, nous montrent ce corps uniformément mélangé dans la masse du fer avec lequel il forme un alliage homogène.

§ 6. — Fer, carbone, silicium et soufre.

M. Alb. Colson (*), en étudiant l'action du sulfure de carbone sur le silicium, a découvert un sulfure SiS et un composé $\text{Si}^2\text{C}^2\text{S}$. Il a démontré que, dans ces corps et quelques autres de la même famille, le soufre est tétraatomique, et le carbone ne peut être décelé par les moyens ordinaires.

La préparation de ces nouveaux composés, obtenus par voie sèche et à de hautes températures, n'est-elle pas réalisée fortuitement par la métallurgie? Cela n'est

(*) *Comptes rendus*, XCIV, 1526.

pas impossible et les travaux de M. Colson mériteraient toute l'attention des chimistes d'usines.

§ 7. — Fer, carbone, silicium et manganèse.

MM. Troost et Hautefeuille, dont nous avons si souvent déjà invoqué les précieuses mesures calorimétriques, ont fait voir que le manganèse donne avec le silicium des combinaisons très stables, tandis que les combinaisons correspondantes du fer sont constituées avec un très faible dégagement de chaleur.

Les essais thermochimiques font donc prévoir la formation de siliciure de manganèse dans les fontes et les aciers, et les prévisions sont confirmées ici par des faits significatifs :

1° M. Pion, chef du service des hauts-fourneaux du Creusot, nous a remis (en janvier 1881) des écailles scorifiées trouvées à la surface de gueuses de fonte Bessemer et dont la composition était la suivante :

Silice.	34,90
Alumine.	3,70
Chaux.	0,00
Protoxyde de manganèse.	56,07
Protoxyde de fer.	3,82
Acide phosphorique	0,13
Soufre.	3,14
	<hr/>
	101,76
A déduire, oxygène correspondant à S. . .	1,57
	<hr/>
	100,19

Ces écailles proviennent probablement d'une liquation de sulfure et de siliciure de manganèse; le siliciure s'est oxydé en arrivant à la surface des gueuses;

2° On sait que le manganèse blanchit les fontes; la formation d'un siliciure de manganèse, fixant en partie

le silicium et empêchant ce dernier de déplacer le carbone, rend très bien compte de ce fait;

3° L'allure des combustions pendant certaines phases des opérations Bessemer, la tendance que possèdent les aciers coulés sans addition de spiegel à renfermer le silicium et le manganèse en proportions relatives assez régulières, viennent déposer dans le même sens.

La méthode Weyl ne montre dans ses résidus aucune accumulation de siliciure de manganèse.

Exemples :

	Acier Martin recuit (déjà étudié).	Fonte Bessemer à 8,60 p. 100 de ciment.	
Silicium	du ciment. { p. 100 de ciment. 0,13	3 dosages concordants sur diverses attaques dont la moyenne donne 3,82 de ciment p. 100 d'acier. 12,85	
	{ p. 100 de métal } 0,00 ₅		1,11
	{ du métal p. 100. } 0,07 ₅		2,20
Manganèse	du ciment. { p. 100 de ciment. 0,75	6 dosages sur diverses attaques dont la moyenne donne 3,95 de ciment p. 100 d'acier. 0,90	
	{ p. 100 de métal } 0,02 ₃		0,07 ₈
	{ du métal p. 100. } 0,37		3,84

On voit qu'il est difficile de localiser le siliciure de manganèse dans l'enveloppe de la cellule; la liquation de ce corps ne permet pas non plus de le supposer uniformément réparti dans le noyau; il forme probablement une combinaison indépendante conservant son identité comme un minéral cristallisé dans une roche.

§ 8. — Fer, carbone, soufre et manganèse.

Le sulfure de manganèse précipité.	MnS = 43,5	
est formé avec production de.		22 ^{Ca} ,6 (*)
Le sulfure de fer précipité.	FeS = 44	11 ^{Ca} ,9 (*)

(*) Berthelot, *Essai de mécanique chimique*, I, 381, tableau XXVI.

D'après MM. Troost et Hautefeuille (*):

Le fer sulfuré à 1,8 p. 100 de soufre dégage par gramme,
quand on le dissout dans le bichlorure de mercure. . . 810^{ca1}
Le fer sulfuré à 5,4 de S, dans les mêmes conditions. . . 840
Et le fer qu'ils contiennent dégagerait seul. . . 810 et 780

Les fers sulfurés seraient donc constitués avec absorption de chaleur. Au contraire, le manganèse sulfuré est difficilement attaquable par le chlorure de mercure, preuve de combinaison stable.

Ici, bien plus nettement encore que pour le silicium, la pratique métallurgique vient confirmer les indications de la thermochimie. L'action désulfurante du manganèse y est si constamment utilisée, au haut-fourneau, au four à puddler, etc., qu'il serait superflu de citer des preuves présentes à toutes les mémoires.

Au convertisseur Bessemer, la simple addition de spiegel fait passer une certaine proportion de soufre à la scorie.

Nous avons trouvé (§ 7) une concentration simultanée du manganèse, du silicium et du soufre dans les écailles scorifiées à la surface de fontes très pures. On pourrait citer beaucoup d'autres exemples de liquations analogues.

Le sulfure de manganèse se trouve dans le résidu de la méthode Weyl.

Exemples :

		Acier Martin recuit (déjà étudié) à 3,95 de ciment.	Fonte Bessemer à 8,60 de ciment.
Soufre. . . .	du ciment. { p. 100 de ciment (5 dosages). . .	0,28	0,33
	du métal p. 100 (calculé) . . .	0,01 ₁	0,02 ₃
Manganèse. {	du ciment. { p. 100 de ciment (6 dosages). . .	0,75	0,90
	du métal p. 100 (trouvé)	0,02 ₃	0,07 ₃
		0,37	3,84

(*) *Comptes rendus*, LXXXI, 1263.

L'analyse retrouve dans ces résidus la moitié environ du soufre total. Nous avons vu ailleurs que le manganèse y était sans relations avec le carbone et le silicium; par rapport au phosphore, le métal est en défaut pour former un phosphure connu; reste la combinaison « sulfure de manganèse » à laquelle l'expérience et l'induction conduisent à la fois; quant à vouloir déduire de la composition si complexe du résidu électrolytique la formule de ce sulfure, nous ne l'essayerons pas; nous n'avons qu'un point à retenir: dans les aciers et les fontes, une forte partie du soufre est combinée au manganèse et localisée dans le ciment.

§ 9. — Fer, carbone, phosphore et manganèse

Pendant que le silicium et le soufre forment avec le fer des composés beaucoup moins stables que ceux des mêmes corps avec le manganèse, les phosphures de fer sont constitués avec une forte production de chaleur.

MM. Troost et Hautefeuille trouvent que :

Le fer phosphoré à 5 p. 100 dégage par gramme. . . 790^{ca1}
— 10 — — — . . . 480

dans l'attaque par le bichlorure de mercure; les phosphures de manganèse ne sont que difficilement attaqués.

Aucun fait métallurgique probant n'indique une action directe du manganèse sur le phosphore; rien ne montre la présence du phosphure de manganèse dans le ciment isolé par la méthode Weyl et où la plus grande partie du phosphore est cependant engagée; un acier Thomas avant sursoufflage contenant p. 100

$$C = 0,15 \quad S = 0,05 \quad Ph = 1,28 \quad Mn = 0,91$$

nous a donné un ciment à 21,6 de phosphore, 16,60 de fer, 0,00 de manganèse, ce qui paraît tout à fait probant.

Il est donc vraisemblable que le manganèse ne déplace

pas le fer de ses phosphures, et son intervention ne change rien au paragraphe 4 de ce chapitre.

§ 10. — **Fer, carbone, silicium, soufre, phosphore et manganèse.**

Nous résumons ici, sous forme d'un tableau, les résultats que nous avons pu rassembler :

Analyse immédiate des fontes et des aciers.

	CELLULE.		ÉLÉMENTS INDÉPENDANTS.
	NOYAU.	ENVELOPPE.	
Fe	Constitue la base du noyau sous forme de granulations grossièrement polyédriques. La variété α domine dans les aciers recuits. La variété β se produit par l'écroutissage et la trempe en proportions variables suivant la teneur en carbone et l'énergie des moyens de transformation.	L'enveloppe est formée par les combinaisons du fer avec le carbone et autres métalloïdes.	
C	C de trempe probablement dissous dans le fer, mais non combiné avec lui; le recuit détermine d'abord la combinaison avec le fer, puis le retour à l'enveloppe; passe au Graphite dans les fontes en abandonnant le noyau.	C de recuit combiné au fer et formant avec lui un ou plusieurs carbures insuffisamment déterminés qui constituent principalement l'enveloppe.	Graphite.
Si	En l'absence de Mn, paraît jouer le même rôle que le C et le déplacer.		En présence de Mn, Siliciure de Mn ?
Ph	Phosphure de fer partiellement décomposable par HCl avec dégagement de PH ₃ .	Phosphure ou phosphocarbure de fer indécomposable par HCl	Phosphure de fer ?
S	En présence de Mn, sulfure de manganèse; sinon sulfure de fer.		
Mn	Quand il est en excès par rapport au Si et au S, est uniformément mélangé au fer.		

Le fer possède un ciment analogue à celui de l'acier, mais ordinairement plus rare, puisque la teneur en carbone est toujours faible, et plus simple, les éléments facilement oxydables (silicium et manganèse) ne s'y trouvant presque jamais à l'état de liberté. En outre, la scorie interposée forme dans le fer un deuxième ciment qui est la véritable caractéristique des métaux puddlés et y constitue un réseau particulier de moindre résistance, que les cassures, les torsions, les pliages et les attaques par les acides mettent facilement en évidence (*).

CHAPITRE III.

INTERPRÉTATION THÉORIQUE DES FAITS D'EXPÉRIENCE.

Jusqu'à présent, nous avons décrit et groupé des expériences, mais sans remonter à l'origine des résultats enregistrés, sans en étendre les conséquences au delà des limites de l'observation.

Cependant la connaissance de l'acier est encore, il faut l'avouer, bien incomplète. Devant les problèmes qui restent à résoudre, nous avons pensé qu'il était légitime et peut être utile d'interpréter les faits épars et de les ramener à un petit nombre de causes générales et de propositions simples.

A. *Cause possible des changements d'état du carbone dans les fers carburés supposés purs.* — Il est maintenant bien établi que, dans l'acier refroidi lentement à partir

(*) M. Le Châtelier, en isolant cette scorie par le chlore, a permis d'en étudier la distribution et montré le rôle qu'elle remplit dans la formation du nerf. (*Comptes rendus*, LXXXII, 1057).

du rouge, la plus grande partie du carbone est chimiquement combinée au fer (Ch. II, § 1, 1^{re} partie).

D'autre part, il est non moins établi que certains produits métallurgiques renferment du carbone libre. Sans parler des fontes grises où la présence nécessaire du silicium explique celle du graphite, nous rappellerons particulièrement une intéressante expérience dans laquelle M. Forquignon (*), en chauffant dans le vide, entre 900 et 1000 degrés, une fonte blanche, y a déterminé la formation de graphite *invisible*.

Si le carbone peut ainsi passer de l'état de carbure de fer à celui de carbone libre, il faut bien que le carbure de fer se soit décomposé à une certaine température et ait mis en liberté cette fraction du carbone qui a pu, en s'arrangeant sous la forme moléculaire de graphite, prendre et garder une nouvelle individualité.

Si la formation du graphite, visible ou invisible, n'est pas ordinairement réalisée dans les fontes blanches et les aciers, cela prouve seulement qu'elle exige des conditions particulières; mais il suffit qu'on l'obtienne dans certaines circonstances pour qu'on soit en droit de considérer comme très probable la dissociation normale du carbure de fer aux températures élevées.

Nous disons *dissociation* et non plus décomposition parce qu'il s'agit d'un phénomène réversible; en règle générale, après chaque nouveau réchauffage suivi d'un refroidissement lent, on retrouve le carbone sous sa forme initiale de carbure de fer; c'est seulement quand il a pris, grâce à un milieu ou à des artifices spéciaux, la forme de graphite, que le carbone échappe en partie à la recombinaison.

Cette notion de dissociation fournit au moins une explication très simple des changements d'état du carbone.

(*) *Comptes rendus*, XCIX, 237.

Si, en effet, le carbure de fer se dissocie à partir d'une certaine température (*), et qu'on refroidisse brusquement l'acier à partir d'une température supérieure, la trempe va jouer un rôle identique à celui du tube chaud et froid de Sainte-Claire-Deville pour les milieux gazeux dissociés. Elle maintiendra les choses en l'état et fera retrouver tel quel le carbone libre sous forme de carbone de trempe. Il est donc tout naturel que MM. Abel et Deering et nous-mêmes n'ayons tiré de l'acier trempé, par des méthodes différentes, qu'une faible quantité de carbure de fer. On comprend également bien que l'écrouissage, qui agit à froid, ne puisse avoir et n'ait en effet aucune influence sur l'état du carbone.

On objectera avec raison que le carbone de trempe, que nous supposons libre, a de singulières propriétés: il disparaît dans le bichromate de potasse froid additionné de 5 p. 100 (en volume) d'acide sulfurique; il se dissout dans l'acide azotique de densité 1,20 ou même beaucoup plus étendu; il se combine à l'eau, tout comme le carbone de recuit, dans les réactifs salins qui dissolvent le fer.

Il faut donc supposer une variété inédite de carbone et lui attribuer des affinités particulièrement puissantes. C'est là, évidemment, la partie la plus hardie de notre hypothèse. Nous pouvons cependant, croyons-nous, invoquer en sa faveur l'autorité de M. Berthelot, qui a été conduit (**), pour expliquer la formation de certains composés endothermiques et pourtant très stables, à admettre l'existence probable d'une forme de carbone au minimum de condensation et douée d'une énergie suffisante pour se combiner directement avec dégagement de chaleur à l'hydrogène et à l'azote. Et, comme pour

(*) La dissociation paraît commencer dès le bleu.

(**) Recherches sur les états du carbone, *Ann. de chim. et de phys.*, 4^e série, XIX, 392.

relier ces deux inductions arrivant, d'origines si différentes, à une conclusion identique, M. Forquignon (*) n'a-t-il pas trouvé que l'hydrogène et l'azote se combinent directement au rouge avec le carbone des fontes et des aciers pour donner des carbures d'hydrogène et du cyanogène.

D'autres considérations peuvent aussi conduire à la même conception touchant la nature du carbone de trempe. Nous savons que, dans les aciers bruts de coulée, forgés ou recuits, le carbure de fer est extracellulaire; au contraire, le carbone de trempe est intracellulaire, c'est-à-dire disséminé dans toute la masse métallique. Cette différence suppose que le carbone possède, à partir de la température où la trempe commence à manifester son action, une mobilité que démontraient déjà la cémentation du fer par la fonte et d'autres phénomènes analogues. Et cette mobilité ne peut être attribuée à la dissolution du carbure de fer dans le fer en excès puisque le carbure de fer tend à disparaître de l'acier trempé (**).

Notre hypothèse semble donc être suffisamment plausible. Si on veut bien nous l'accorder et si les lois les plus ordinaires de la dissociation sont applicables au carbure de fer, une barre d'acier rouge contiendra à la fois :

Fer en excès. — Un ou plusieurs carbures de fer. — Carbone libre.

A mesure qu'on chauffera davantage, la proportion de carbure de fer non dissocié diminuera, celle du carbone libre augmentera et, à chaque température, correspondra

(*) Mémoire cité.

(**) Il n'est pas impossible que l'hydrogène occlus joue un rôle dans le transport du carbone. Nous avons remarqué que l'acier recuit dans H se comportait, vis à vis de l'acide azotique, à la façon de l'acier trempé.

un état d'équilibre qui sera ou non atteint selon que la température considérée sera ou non maintenue pendant un temps suffisamment long. Mais le carbone libre ne peut exister dans un milieu solide homogène qu'à l'état de dissolution; et si, dans certaines circonstances, la solubilité du carbone est inférieure à sa tension de dissociation, la dissociation deviendra une décomposition complète et le carbone libre insoluble pourra prendre une nouvelle forme, celle de graphite. Le maximum de carburation des fontes se confondra alors avec la solubilité du carbone dans le bain, à la température du creuset des hauts-fourneaux; il pourrait aussi résulter de l'équilibre entre les actions oxydantes et les actions réductrices opposées qui s'établit dans chaque zone; mais on n'y aperçoit rien de commun avec la formation d'un carbure défini.

B. *Changements d'état du fer et leurs relations avec ceux du carbone.* — Dans le chapitre II (§ 1, 2^e partie), nous avons rapporté à deux causes ordinaires le changement du fer α en fer β .

L'une de ces causes, la déformation à froid par le choc et la pression, paraît assez naturelle et on pourrait trouver d'autres exemples de modifications moléculaires produites dans des conditions semblables.

La seconde, la trempe, détermine fréquemment aussi des transformations allotropiques; mais le fer présente ceci de particulier qu'il ne se modifie par la trempe qu'en présence du carbone et d'autant plus complètement que la teneur en carbone est plus élevée. C'est là un fait, assez curieux sans doute, mais qui n'est pourtant pas complètement isolé. M. Cailletet (*) a montré que le fer déposé par l'électrolyse d'une solution de chlorure ferreux additionnée de sel ammoniac contient de l'hydrogène qui lui

(*) *Comptes rendus*, LXXX, 319.
Tome VIII, 1885.

communiquent une grande dureté et une force coercitive considérable. L'hydrogène agit ici à la manière du carbone pendant la trempe; il est donc permis de rapprocher ces deux phénomènes, d'autant plus que l'étude des aciers trempés nous a montré le carbone à l'état de diffusion complète dans la pâte ferreuse. Carbone et hydrogène seraient simplement des agents perturbateurs empêchant le fer où ils sont répandus de prendre sa forme ordinaire d'équilibre et l'obligeant à garder un excédent de chaleur.

C. *Genèse de la cellule simple.* — Tout ce qui précède est indépendant de la structure morphologique de l'acier, mais cette structure elle-même est un corollaire des conditions physico-chimiques que nous venons d'esquisser.

Soit une masse d'acier fondu récemment coulée dans une lingotière; le refroidissement va déterminer une recombinaison graduelle du fer et du carbone dissociés et, bientôt, la solidification du fer en excès, beaucoup moins fusible que ses carbures.

Comment se fait cette solidification? Nous avons pu résoudre l'acier, par l'analyse microscopique, en cellules simples dont le noyau était une petite granulation de fer, unité anatomique primordiale du tissu cellulaire. Nous pouvons assimiler cette granulation à « ces petites « sphères isotropes que Vogelsang appelle globulites, « qu'il a vues naître sous le microscope et qu'il considère comme la première manifestation des forces cristallines qui tendent à individualiser une substance « quelconque (*) ». C'est là un fait très général que l'ex-

(*) Les lignes entre guillemets sont empruntées au « Mémoire sur les divers modes de structure des roches éruptives » de M. Michel Lévy, *Annales des mines*, 7^e série, VIII, 350.

périence démontre vrai pour l'acier. Dans ce cas particulier, ce sont des globulites de fer qui vont se précipiter au sein d'un liquide mère formé essentiellement de carbure de fer et contenant en outre diverses combinaisons du fer avec les métalloïdes; les globulites s'accrochent en partie aux parois déjà solidifiées, en partie se rassemblent au fond du vase clos que forment ces parois; là, soit par leur propre poids, soit par la pression due au retrait des couches extérieures, ils se serrent les uns contre les autres et, comme ils sont extrêmement plastiques au voisinage du point de fusion, se déforment mutuellement et se limitent par des faces de polyèdres.

Mais, à moins de pressions locales énergiques et ne se faisant pas équilibre, les granulations restent mouillées par leur *eau-mère* qui se distribue en couches minces dans leurs intervalles capillaires.

Le refroidissement continuant, on conçoit que des matériaux de seconde consolidation puissent s'isoler: phosphore de fer, siliciure de manganèse, etc..., selon les affinités et les points de fusion respectifs. Finalement, il reste à l'état fluide un mélange plus ou moins complexe, où domine ordinairement le fer carburé, qui se solidifie à son tour dans les joints des globulites polyédriques et les unit en un seul bloc: c'est le *ciment*.

Mais, après la solidification complète, le carbone n'est pas entièrement recombinaison; une partie est encore à l'état de liberté et pourra, soit rester telle si l'on trempe, soit achever de se combiner pendant le refroidissement lent. Cette combinaison se fait-elle par retour du carbone au ciment qui passerait à une nouvelle forme plus carburée? a-t-elle lieu dans l'intérieur du noyau qui éliminerait lentement le carbure au fur et à mesure de sa formation? La seconde hypothèse nous paraît la plus probable, mais elle demande à être vérifiée.

D. *Genèse des cellules composées.* — Les globulites qui constituent le noyau de la cellule simple ne sont pas des unités indépendantes. Vogelsang et les minéralogistes ont montré comment ils se composent en associations plus élevées qu'ils appellent margarites (globulites rangés en ligne droite), cristallites (étoilements réguliers de margarites), microlites (augmentations successives de cristallites passant aux cristaux proprement dits) (*). Il en est de même pour le fer, et l'agrégation des globulites en édifices plus complexes est prouvée par les dendrites que montrent les attaques de sections polies et que Tchernoff signale au centre des lingots où le retrait du ciment les a laissées visibles et, pour ainsi dire, à sec.

Bien que ces agglomérations soient généralement masquées par l'empâtement de la masse, elles n'en existent pas moins. C'est par elles que nous avons expliqué, avec Tchernoff (chap. I, D. a.), la formation des cellules composées. Les figures 2 et 3 (Pl. I) ne laissent aucun doute à cet égard.

Tout globulite précipité ou bien est un centre d'organisation pour ceux qui se précipiteront après lui dans sa sphère d'action ou bien se réunit à une agglomération en voie de croissance s'il en rencontre une assez rapprochée pour l'attirer.

Toute agglomération dendritique tend à se développer suivant trois axes rectangulaires et se développe en effet, plus ou moins régulièrement, jusqu'à la rencontre d'une agglomération voisine; toutes deux se limitent alors par une surface commune.

Mais le centre d'agglomération a pu, à l'origine, ou se fixer aux parois antérieurement solidifiées, ou rester flot-

(*) D'après M. Michel Lévy, mémoire cité.

tant dans un milieu encore liquide, mais trop froid pour le redissoudre. De là deux modes de croissance.

Dans le premier cas, soit *ab* (fig. 12, Pl. I) la paroi de la lingotière, *pq* la limite de la portion solidifiée, α un centre d'organisation fixé : l'agglomération correspondante va tendre à se développer suivant une demi-sphère dont α est le centre; mais les agglomérations voisines dont les centres sont β et γ s'accroissent simultanément; de là formation d'une surface limite perpendiculaire à la paroi de la lingotière ou, d'une façon plus générale, à la surface de refroidissement; de là, pour l'acier, la structure superficielle en prismes ou en aiguilles normaux à la surface.

Dans le deuxième cas, le centre flottant peut s'accroître dans tous les sens; les agglomérations deviennent des polyèdres.

Les deux systèmes se présentent constamment en pratique et l'on s'en rend facilement compte. Dans un lingot en voie de solidification (fig. 13, Pl. I) on peut distinguer trois zones:

1° Une zone solide (entre la lingotière et le plan variable *pq*) dont la température est inférieure à celle de fusion;

2° Une zone *pqmn* en train de se solidifier, dont la température est, par conséquent, celle de la fusion et qui est formée d'un lacis de dendrites croissantes et de liquide interposé;

3° Une zone intérieure à *mn*, liquide, et dont la température est supérieure à celle de la fusion; cette dernière, comme tout liquide qui se refroidit par l'extérieur, est forcément animée de mouvements qui en régularisent la température; nous regarderons cette température comme uniforme.

La première zone s'est constituée en prismes qui se continuent naturellement dans la seconde; mais le re-

froidissement général se poursuit et un moment arrive où le lingot intérieur liquide atteint la température de solidification. Alors des centres mobiles d'organisation se forment dans ce lingot intérieur et, comme ils peuvent s'accroître dans tous les sens, constituent la partie centrale à l'état de polyèdres.

Ainsi s'explique très simplement la double structure si fréquemment observée dans les lingots, prismatique à la périphérie, polyédrique à l'intérieur (*).

Mais les phénomènes physiques de la solidification sont accompagnés de phénomènes mécaniques dus au retrait de la partie extérieure solidifiée la première.

Tchernoff a indiqué et M. Barba, de son côté, a démontré mathématiquement que le refroidissement des lingots peut se diviser en deux périodes : l'une, pendant laquelle l'extérieur du lingot se refroidit plus vite que l'intérieur et par conséquent le comprime ; l'autre, pendant laquelle l'intérieur se refroidit plus vite que l'extérieur et se trouve soumis à des efforts de traction.

Combinons maintenant les deux séries de phénomènes, physiques et mécaniques : nous avons vu plus haut comment les agglomérations voisines se limitaient mutuellement par des faces grossièrement planes et prenaient ainsi des formes prismatiques ou polyédriques. N'oublions pas que ces prismes et ces polyèdres sont des amas de globulites solides enduits de leur ciment encore liquide, et soumettons-les à une pression, comme il s'en produit en effet pendant la première période du refroidissement ; le ciment liquide va s'échapper facilement, de

(*) Rien de plus facile que d'imiter synthétiquement ces formes en comprimant dans un moule des sphères ou des cylindres d'un corps plastique quelconque. Avec des balles de plomb, on reproduit parfaitement (*fig. 4*, Pl. I) l'aspect des polyèdres de l'acier brûlé (*fig. 5*, Pl. I) qui ont la même origine que ceux de l'acier coulé.

l'extérieur à l'intérieur du lingot, par les plans de contact qui lui offrent des routes ouvertes ; la cellule composée de deuxième ordre sera ainsi constituée et constituée sans enveloppe.

Dans la partie centrale qui s'est solidifiée sans pression, le ciment n'a pu être expulsé d'entre les polyèdres que par le poids relatif de ces derniers ; aussi trouve-t-on rarement à l'intérieur des lingots de vrais polyèdres à faces nettes ; les cellules composées de deuxième ordre y sont plus ou moins anastomosées et n'y ont pas d'individualité bien définie (*fig. 3*, Pl. I) (*).

La formation des cellules composées par accroissement régulier autour d'un centre d'organisation suppose, comme tout arrangement de ce genre, un facteur essentiel, *le temps*. Il doit donc exister une certaine vitesse limite de refroidissement au delà de laquelle les cellules composées ne se forment pas ou ne se forment que très imparfaitement ; aussi bien la structure géométrique n'est-elle franchement accusée que dans les lingots coulés assez chauds.

En deçà de la vitesse limite, la formation des cellules composées est facile et leur volume augmente à mesure que le refroidissement devient plus lent. Si on connaissait les lois du refroidissement, on pourrait presque déterminer à l'avance par le calcul, pour une température de coulée donnée, les dimensions des cellules composées.

E. *Conclusions*. — L'exposé et la discussion des expé-

(*) Le ciment est refoulé de l'extérieur à l'intérieur par la pression due au retrait des couches solidifiées et son poids spécifique relativement faible le fait monter à la tête des lingots : ces deux causes combinées tendent à amasser le ciment dans la partie centrale supérieure des lingots. De là les accumulations de carbone, de soufre et de phosphore qu'on y rencontre et dont la présence justifie l'usage des masselottes, du moins pour les grandes masses dont le refroidissement est très lent.

riences nous ont conduits à quatre principes fondamentaux dont le sens exact et le caractère précis ont été, croyons-nous, suffisamment expliqués, pour qu'il nous suffise de les énoncer ou plutôt de les rappeler ici.

Ce sont :

- 1° La formation des cellules simples ;
- 2° La formation des cellules composées ;
- 3° La transformation allotropique du fer ;
- 4° La dissociation du carbure de fer.

Ces quatre principes constituent la nouvelle théorie que nous proposons sous le nom de : *Théorie cellulaire des propriétés de l'acier*.

CHAPITRE IV.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DE L'ACIER DANS LA THÉORIE CELLULAIRE.

Il nous reste à rendre compte, par la théorie cellulaire, des propriétés de l'acier que nous n'avons pas encore examinées et des principaux phénomènes que l'on rencontre journellement dans le travail et les essais de ce métal.

A. *Propriétés de l'acier à chaud*. — Dans le chapitre III, nous avons suivi pas à pas la solidification de l'acier et la genèse de sa structure. Prenons maintenant le lingot refroidi que les aciéries livrent à la forge et qui doit y être transformé en pièces finies par le laminoir ou le pilon ; réchauffons-le, à partir de la température ordinaire jusque vers la fusion.

Le réchauffage peut se diviser en trois périodes limitées par les points *a*, *b*, *c* de Tchernoff (*).

(*) *Loc. cit.*

1^{re} période. — De la température ordinaire jusqu'au point *a*, défini comme suit par Tchernoff : « Quand la température ne s'élève pas au-dessus de *a*, l'acier ne prend pas la trempe. » Pour nous, *a* est la température où la dissociation du carbure de fer a acquis une tension suffisante pour se manifester par des effets physiques.

Pendant cette période, l'acier ne diffère pas notablement de ce qu'il est à la température ordinaire. Cependant, M. Huston (*) a trouvé que la résistance à la rupture, rapportée à la section primitive, est plus grande à 300° et même à 500° qu'à 10°. On sait aussi que l'acier possède, entre 225° et 350°, une fragilité remarquable. Ces faits paraissent indiquer, dans cet intervalle, une modification moléculaire du fer.

Au-dessous de *a*, le marteau et le laminoir déforment encore l'acier sous une pression suffisante, mais seulement en l'érouissant. L'étude de l'érouissage viendra mieux à sa place avec celle des propriétés de l'acier à froid.

2^e période. — La dissociation du fer et du carbone, commencée en *a* par définition, va se poursuivre selon des lois à déterminer. Cette dissociation se fait-elle directement entre les éléments ou par l'intermédiaire d'une série de carbures qui resteraient représentés dans l'acier après le refroidissement brusque ? C'est ce qu'il est difficile de préciser. L'impossibilité où l'on a été jusqu'à présent d'isoler un composé bien défini de fer et de carbone, la multiplicité des carbures d'hydrogène produits dans l'attaque par les hydracides nous paraissent rendre probable la pluralité des carbures de fer ; mais ce point n'est pas éclairci. Il n'a pas d'ailleurs une importance essentielle :

(*) *Bulletin de l'association amicale des anciens élèves de l'École des mines*, 1878-79, p. 175, d'après le *Journal of the Franklin Institute*.

dans l'hypothèse d'un seul carbure, c'est la proportion même du ciment qui va en décroissant de a en b ; sinon, c'est sa teneur en carbone; l'effet pratique est à peu près le même. La limite supérieure b est la température de fusion du ciment. La 2^e période est donc caractérisée physiquement par la plasticité croissante du noyau cellulaire et par l'état de plus en plus pâteux de l'enveloppe; chimiquement, elle se distingue de la précédente par la présence du carbone libre dissous dont la proportion augmente avec la température. En pratique, elle s'étend à peu près du rouge sombre au rouge cerise.

Si, à partir d'un point placé entre a et b , on refroidit brusquement l'acier, le carbone libre n'a pas le temps de se combiner au fer et reste à l'état de carbone de trempe; le fer du noyau passe en partie à l'état β (*).

Si, au contraire, le refroidissement est lent, le carbone libre se combine de nouveau avec le fer, le noyau reste ou revient à l'état α . Tel est le cas du recuit.

En pratique, comme le refroidissement n'est jamais ni infiniment lent ni infiniment rapide, on conçoit que le carbone de recuit et le carbone de trempe, le fer α et le fer β coexistent généralement, bien qu'en proportions relatives très variables, dans l'acier refroidi.

Ce que nous venons de dire n'explique pas suffisamment l'action d'un recuit au rouge sur l'acier brut de coulée; cette action est purement physique; elle détruit, dans une certaine mesure, les cellules composées, et voici comment: le carbone libre, à la faveur d'un chauffage prolongé, s'est lentement diffusé; pendant le refroidissement, le carbure de fer se reconstitue autour de chaque globulite; de là formation de ciment dans les régions qui en manquaient. On voit en même temps combien ce pro-

(*) Ou garde cet état si, ce qui est possible, la modification β se produit spontanément vers 300°.

cédé est incomplet pour améliorer à lui seul l'acier coulé. En effet, la diffusion du carbone, véritable cémentation intérieure, est très lente à une température relativement basse et qu'on ne saurait élever beaucoup sans tomber dans d'autres inconvénients; la portion non dissociée du ciment reste en place, c'est-à-dire très inégalement répartie.

On ne peut donc obtenir par le simple recuit une homogénéité suffisante; il faut que le martelage ou le laminage, en pétrissant le métal, achèvent mécaniquement la distribution du ciment.

Cette nouvelle manière de voir nous paraît absolument démontrée par la comparaison des microphotographies de la Pl. I.

La 2^e période est celle du travail de l'acier, en particulier dans la région qui s'approche de b , tout en restant un peu en deçà. Vers a , l'acier ne se laisse forger qu'avec peine et s'écroute encore; au-dessus de b , le ciment est fluide; il peut s'écouler sous la pression et les chocs en laissant des surfaces de faiblesse identiques à celles de l'acier coulé.

En pratique cependant, pour arriver plus vite à la forme définitive, on est souvent conduit à commencer le travail à une température un peu trop haute. L'essentiel est de l'achever à la température voulue, pour que l'acier, abandonné trop chaud à lui-même, ne puisse perdre la texture qu'on lui avait donnée à grand'peine. Inversement, les pièces de petites dimensions, les tôles minces en particulier, sont presque toujours finies à trop basse température; mais c'est là un défaut que l'on corrige facilement par le recuit.

3^e période. — S'étend de la fusion du ciment à celle de l'acier. Au début de cette période, le travail est encore possible avec des précautions convenables, c'est-à-dire en forgeant à petits coups rassemblés. Autrement, les

noyaux, n'ayant plus de lien, roulent les uns sur les autres; le ciment s'écoule et laisse les granulations ferreuses sans cohésion.

Dès que le ciment est fondu, les globulites peuvent obéir librement à leurs affinités moléculaires et s'arranger de nouveau, si on leur en laisse le temps, en agglomérations de croissance. Les conditions physiques sont analogues à celles que nous avons trouvées à l'intérieur des lingots pendant la solidification, avec cette différence que les arrangements sont d'autant plus lents et difficiles que le point de départ du refroidissement est plus voisin de *b*. Nous avons donc, ici encore et pour les mêmes raisons, formation de polyèdres, pourvu que la température suffisante soit maintenue pendant un temps assez long; vienne ensuite un refroidissement un peu lent qui détermine une pression des couches extérieures durcies sur la région intérieure maintenue à une température plus haute que *b*, nous aurons expulsion du ciment d'entre les faces de contact et mise en évidence des polyèdres. Un passage au laminoir produit le même effet sur les aciers surchauffés.

Ainsi s'explique l'apparence connue sous le nom de *fer brûlé* et dont les *fig. 4* et *5* (Pl. I) montrent deux échantillons, l'un (*fig. 5*) naturel, l'autre (*fig. 4*) imité par synthèse en comprimant des balles de plomb dans un moule. Si on trempe entre *b* et *c*, le ciment est devenu rare, à cause de la dissociation croissante des carbures, la proportion de fer β est exagérée, les cellules composées se sont reconstituées: le métal trempé est très dur, mais il n'a plus de corps.

Pour plus de clarté, nous avons résumé les développements qui précèdent en un tableau comparé au diagramme de Tchernoff.

DIAGRAMME DE TCHERNOFF.		THÉORIE CELLULAIRE	
0	a	b	c
État du ciment. . . . .	..... Solide et rigide. . . . .	..... Solide, puis pâteux . . . . .	..... Liquide.
État du noyau.	Non modifié si l'on part d'un acier recuit; si l'on part d'un acier trempé, le chauffage détermine un nouvel état d'équilibre entre le fer α et le fer β .	Deviend de plus en plus plastique la température	à mesure que Fond dans le ciment, s'ébève.
Transformation de la structure par le refroidissement	..... Nulle. Nulle.	Le grain devient plus régulier; les cellules composées tendent à disparaître. Prend la trempe de plus en plus vive.	Les cellules composées se reconstituent. Métal brûlé. Le métal trempé n'a plus de corps.
Travail mécanique.	Difficile avec écouissage et apparition de la schistosité.	Deviend de plus en plus facile. (Zone normale de travail.)	Difficile, mais possible avec précautions. Impossible.
Soudure. . . . .	..... Impossible. . . . .	..... Apparente	Zone de soudure. Soudure facile, mais on ne peut plus pratiquement régénérer le métal.
Quand la température ne s'ébève pas au-dessus de <i>a</i> , l'acier ne prend pas la trempe.		Quand la température descend de <i>c</i> à <i>b</i> , la texture de l'acier devient cristalline.	
Quand la température s'ébève de 0 à <i>b</i> , la texture de l'acier est invariable.		Quand la température s'ébève de <i>b</i> à <i>c</i> , la texture de l'acier devient amorphe.	
Le carbure de fer commence à se dissocier.		Fusion de l'acier.	
Température du bien.		Fusion du ciment.	

Il est bien entendu que les points *b* et *c* ne sont pas fixes et varient, soit avec la dureté, soit avec la pureté des aciers.

1° Avec la dureté, parce que le ciment, dans les aciers durs, est ou plus carburé ou plus épais que dans les aciers doux selon qu'il est formé d'un carbure unique défini ou d'un mélange variable de carbures. Dans le premier cas, il fond à température plus basse; dans le deuxième, il a un point de fusion fixe; mais la consistance de la masse sera d'autant moindre, à température égale, que la proportion de la partie fluide y sera plus grande, comme dans un mortier gâché plus clair. De toutes façons, les points *b* et *c* s'abaissent pratiquement quand la teneur en carbone augmente.

2° Avec la pureté; car, à teneur en carbone égale, celles des impuretés qui s'amassent dans le ciment en font varier et généralement en abaissent le point de fusion.

On voit que toutes les propriétés à chaud sont des fonctions de celles du ciment. Donc, en principe, tout corps qui élit domicile dans le ciment aura une influence sur les propriétés de cet ordre et cette influence sera mauvaise si le point de fusion est abaissé, puisque la zone de travail sera diminuée d'autant et que les arrangements des globulites en cellules composées pourront commencer à plus basse température. Ainsi agissent le soufre et le phosphore, plus nuisibles encore en présence de fortes proportions de carbone, parce que l'épaisseur du ciment augmente en même temps que sa fusibilité.

Le phosphore paraît aussi former avec le carbure de fer un composé complexe non dissociable: les aciers phosphoreux durcissent peu par la trempe.

Le manganèse, en se combinant au soufre, combat un peu les mauvais effets de ce métalloïde; il semble

encore augmenter la solubilité du carbone libre dans le fer et activer ainsi la dissociation du carbure; de là son action sur la trempe, exactement contraire à celle du phosphore.

Il nous paraît inutile de développer davantage ces indications, suffisantes pour faire prévoir l'influence des impuretés non étudiées et pour guider le lecteur dans l'interprétation des phénomènes de détail.

Dans les fers, la scorie de puddlage joue identiquement le même rôle physique que le ciment dans les aciers.

B. Propriétés de l'acier à froid. — Les propriétés de l'acier à froid dépendent à la fois :

1° De la plasticité du noyau, en entendant par ce mot la pression minimum par unité de surface sous l'effort de laquelle le noyau peut se déformer, s'écouler, suivant l'heureuse expression de M. Tresca.

2° De la résistance que l'enveloppe oppose à la déformation du noyau.

La plasticité du noyau dépend de la proportion relative du fer β et du fer α qui s'y trouvent mélangés, le fer β augmentant, comme nous l'avons vu, avec la teneur en carbone et, pour une même teneur, avec l'énergie de la trempe et de l'écrouissage.

Les corps étrangers qui, à la façon du manganèse, augmentent à la fois la dureté, la force coercitive, la résistance électrique, etc., doivent contribuer à la formation du fer β , soit directement, soit en facilitant, toutes choses égales d'ailleurs, la dissociation du carbone d'avec le fer.

Mais, dans le travail à froid, la plasticité du noyau n'est pas le seul facteur à considérer: la déformation du noyau suppose en effet celle de l'enveloppe. Or l'enveloppe, composé du fer avec le carbone et d'autres métalloïdes, est rigide et peu extensible; elle oppose donc aux

mouvements de son contenu une certaine résistance qui dépend à la fois de son épaisseur et de sa composition chimique.

Guidés par ces explications préliminaires, étudions les propriétés mécaniques de l'acier dans un cas usuel, celui d'un essai à la traction.

Sous l'influence des charges croissantes, la barrette est soumise à un effort de traction longitudinale et de compression transversale correspondante.

Nous n'avons rien à dire de la période élastique, commune à tous les corps solides.

A partir d'un certain moment, sous une charge qu'on appelle la limite élastique, commence la période des déformations permanentes mesurables. D'après ce que nous avons dit plus haut, la limite élastique peut se définir : la charge sous laquelle la déformation du noyau fait éclater l'enveloppe.

Mais, comme le ciment n'est jamais réparti d'une façon absolument uniforme, certains noyaux peuvent briser leur enveloppe plus mince sous une pression plus faible; d'autres, qui n'ont pas d'enveloppe sur une ou plusieurs faces, se déforment plus facilement encore; de là ces déchirures parfois visibles à la surface des barreaux d'épreuve et les bruits que l'on entend pendant l'essai; *chaque cellule a en réalité sa limite élastique*, et celle que l'on attribue à l'acier ne correspond qu'au maximum d'un phénomène plus ou moins irrégulier.

D'autre part, la pression de fluidité du noyau dépend de son état calorifique et cet état est modifié par l'écroutissage; or toute déformation produit un écroutissage; donc, par le seul fait de l'essai, le métal devient d'autant moins plastique qu'il a subi un travail plus considérable. C'est pourquoi il s'établit, sous des charges croissant au delà de la limite élastique, une série d'équilibres stables.

Les enveloppes une fois déchirées latéralement, les noyaux se déforment en liberté. La rupture, qui se produit toujours suivant les joints et non au travers des noyaux, survient quand l'adhérence du noyau à l'enveloppe fait équilibre à la charge dans la section la plus faible. Aussi trouve-t-on que la charge maximum rapportée à la section réduite correspondante varie peu avec la dureté des aciers.

La principale variable est la plasticité du noyau. Si cette plasticité est assez faible pour qu'il n'y ait pas déformation sous la charge qui équilibre l'adhérence du noyau à l'enveloppe, il y a rupture brusque sans allongement : la cassure est à grains. Pour une plasticité plus grande, il y a déformation et striction jusqu'à ce que la section soit suffisamment réduite et la charge suffisamment forte; les noyaux se sont allongés en fuseaux : la cassure présente un aspect nerveux.

Soient q la charge totale appliquée à la barrette à un moment donné et S la section minimum correspondante.

Soient Q la charge totale qui détermine la rupture et s le minimum absolu de la section.

Soit $R =$ constante, l'adhérence du noyau à l'enveloppe par unité de surface.

La rupture a lieu quand

$$q = Q = sR.$$

Les phénomènes de déformation qui précèdent cet équilibre n'ont rien de commun avec lui; l'usage de rapporter la charge de rupture à la section primitive n'a donc aucune signification simple en théorie, bien qu'il puisse donner en pratique des résultats utiles et comparables.

Notons bien que S n'est pas forcément la section apparente mesurable et mesurée : c'est la partie de cette

section sur laquelle il y a réellement adhérence du ciment aux noyaux. Or, le ciment est plus ou moins déchiré par l'essai lui-même; il peut manquer par endroits et même, pour les aciers bruts de coulée dont le forgeage n'a pas modifié la texture, sur de grandes étendues dans les plans de contact des cellules composées; la charge de rupture apparente, c'est-à-dire rapportée à la section primitive est alors forcément très basse; il en est de même de la limite élastique, puisque les noyaux peuvent se déformer dans ces mêmes surfaces de faiblesse sans avoir à rompre d'enveloppes.

On comprend mieux maintenant pourquoi les pièces de machines ou les barres employées dans les constructions ne doivent jamais supporter, aux points les plus fatigués et dans les circonstances les plus défavorables, de charge égale à leur limite élastique, parce que cette charge représente un commencement de destruction.

Les chocs et les vibrations qui amènent la désorganisation lente du fer et de l'acier, agissent également par ruptures successives, partielles et locales du ciment et finissent, après un nombre d'épreuves d'ailleurs énorme à l'ordinaire, par désagréger ces métaux et les réduire, à la limite, en une sorte de sable métallique.

Les idées que nous venons de développer ne sont certainement pas particulières aux produits de la sidérurgie; elles pourraient s'appliquer à beaucoup d'autres matières, métalliques ou non; mais cette généralisation nous entraînerait au delà des limites de nos expériences.

Déjà, dans le cadre que nous nous sommes tracé, nous avons dû laisser bien des points obscurs et faire appel à plusieurs hypothèses que l'avenir confirmera peut-être... ou infirmera comme tant d'autres. Mais c'est le destin des théories de disparaître: leur excuse est qu'elles pro-

voquent de nouvelles expériences; elles n'ont pas vécu inutiles quand elles laissent après elles les faits qui ont servi à les soutenir et à les attaquer, à les édifier et à les détruire.

Juin 1882 - Juin 1885.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages
INTRODUCTION.	6
CHAPITRE I.	
STRUCTURE CELLULAIRE DE L'ACIER.	
A. Examen microscopique de l'acier.	6
B. Méthode Weyl.	7
C. Méthode des lames minces.	9
D. Attaque de sections polies par l'acide azotique.	10
CHAPITRE II.	
ANALYSE CHIMIQUE IMMÉDIATE DE LA CELLULE SIMPLE.	
§ 1. — Fer et carbone.	17
1 ^{re} partie. — Changements d'état du carbone.	17
A. Principales expériences antérieures.	17
B. Essais par la méthode Weyl.	19
C. Essais par la méthode Eggertz.	21
D. Essais divers.	32
E. Conclusions.	33
2 ^e partie. — Changements d'état du fer.	34
A. Généralités.	34
B. Étude calorimétrique des effets de la trempe et de l'écroutissage sur l'acier.	36

	Pages
C. Effets de la trempe et de l'érouissage sur quelques propriétés de l'acier.	42
D. Conclusions.	48
§ 2. — <i>Fer, carbone et silicium.</i>	49
§ 3. — <i>Fer, carbone et soufre.</i>	50
§ 4. — <i>Fer, carbone et phosphore.</i>	51
§ 5. — <i>Fer, carbone et manganèse.</i>	54
§ 6. — <i>Fer, carbone, silicium et soufre.</i>	55
§ 7. — <i>Fer, carbone, silicium et manganèse.</i>	56
§ 8. — <i>Fer, carbone, soufre et manganèse.</i>	57
§ 9. — <i>Fer, carbone, phosphore et manganèse.</i>	59
§ 10. — <i>Fer, carbone, silicium, soufre, phosphore et manganèse.</i>	60

CHAPITRE III.

INTERPRÉTATION THÉORIQUE DES FAITS D'EXPÉRIENCE.

A. Cause possible des changements d'état du carbone dans les fers carbonés supposés purs.	61
B. Changements d'état du fer et leurs relations avec ceux du carbone.	63
C. Genèse de la cellule simple.	66
D. Genèse des cellules composées.	68
E. Conclusions.	71

CHAPITRE IV.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DE L'ACIER DANS LA THÉORIE CELLULAIRE.

A. Propriétés de l'acier à chaud.	72
B. Propriétés de l'acier à froid.	79

ÉTUDE

SUR

LE TERRAIN GLACIAIRE

DES PYRÉNÉES-ORIENTALES

Par M. WICKERSHEIMER, ingénieur des mines.

AVANT-PROPOS.

Les formations classées dans ce Mémoire ont déjà été étudiées par Dufrenoy, M. Martins et plus récemment par M. Garrigou; mais leur ensemble n'a pas été décrit et il reste des doutes sur leur âge. Le présent Mémoire a pour but de lever les doutes et de faire connaître plusieurs faits intéressants qui n'avaient pas appelé l'attention de ces auteurs, en attendant que les observations et les considérations qu'il présente puissent être publiées dans les mémoires descriptifs qui accompagneront la carte géologique des Pyrénées-Orientales, à l'exécution de laquelle nous travaillons depuis dix années, que nous avons presque terminée et dont nous pensons être en mesure de publier prochainement plusieurs feuilles.

Dans l'extrait de cette carte, établi pour faciliter la lecture du Mémoire (Pl. II), nous avons dû, en raison de l'échelle de réduction, supprimer beaucoup de détails étrangers au sujet spécial des formations glaciaires.

Le terrain détritique joue un grand rôle dans le département des Pyrénées-Orientales. Il se présente sous des aspects assez variés et doit se ranger dans des formations géologiques différentes.

Les montagnes des Pyrénées forment un système fort abrupt traversé par des vallées à forte pente dans lesquelles se précipitent des torrents aux eaux impétueuses, alimentés eux-mêmes par une foule de petits affluents descendant d'étroites vallées presque rectilignes et à pentes plus fortes encore que celles des vallées principales.

Il résulte de cette disposition générale des lieux que les sommets ont sensiblement la même hauteur dans un rayon assez étendu et qu'on y arrive subitement sans les gradations ordinaires qui préparent l'accès de la plupart des massifs montagneux.

Il en résulte aussi que ces montagnes, formant des sortes de prismes triangulaires couchés, dont l'arête supérieure est peu inclinée, sont exposées, sous l'action des intempéries, à des dégradations puissantes; et cela d'autant plus que les forêts et le gazon y sont rares.

L'origine de ces dégradations remonte sans doute à l'apparition même de la chaîne et se poursuit de jour en jour, sous l'action des orages, des avalanches et du dégel, lorsque les neiges, fondant avec rapidité sous l'ardeur de ce soleil méridional déjà si chaud au mois de juin, donnent lieu à des écoulements d'eau d'une intensité que ne peut faire soupçonner le volume des torrents à l'époque de l'étiage. Il faut avoir été témoin de la violence de ces phénomènes pour comprendre la puissance de leur action destructive.

I. *Des éboulis.* — Les fragments de roches détachés par les agents atmosphériques forment d'abord des tas inclinés sur les flancs des montagnes et surtout dans les

couloirs déjà préparés par l'usure des roches sous-jacentes.

Quelquefois aussi, lorsque la pente se trouve adoucie au-dessous de la crête, les fragments rocheux qui proviennent de sa destruction s'y répandent au large et forment un obstacle à la descente de ceux qui continuent l'éboulement de la crête. Dans ce cas, les fragments n'ayant subi qu'une chute peu importante, sont de forte dimension et anguleux.

Les plus gros sont d'ailleurs distribués d'une manière irrégulière au milieu de ceux de dimension moindre.

Comme exemples de ce genre d'éboulis, on peut citer celui du pic de Rougeat (Canigou) et ceux du massif de Carlitte.

Au contraire, les éboulis sur les pentes se distinguent par une distribution régulière des fragments selon leurs dimensions; ils augmentent de grosseur depuis le terrain naturel jusqu'à la surface et du haut jusqu'en bas de la pente. Puis, de là, les blocs se répandent dans la vallée.

Comme les vallées secondaires ont souvent des ressauts, sortes de petits plateaux gazonnés dont chacun correspond à un élargissement relatif de la vallée, les blocs rocheux commencent par s'y arrêter, tandis que les pluies entraînent régulièrement les petits fragments qui se transforment en sable lorsqu'ils arrivent dans les régions inférieures. Mais les eaux des orages ou celles de la fonte des neiges finissent par entraîner les gros blocs eux-mêmes et les roulent, de ressaut en ressaut, jusque dans le cours inférieur de la rivière principale.

C'est ainsi que dans les Pyrénées-Orientales le Tech, la Têt et même l'Agly ont le lit formé de gros cailloux en gneiss ou en granite, quelquefois même en micaschiste s'il est suffisamment quartzéux, provenant des fragments détachés des hauts sommets.

II. *Des dépôts glaciaires.* — Lorsqu'on pénètre dans la vallée de la Têt en amont d'Ille, on ne peut manquer de remarquer de puissants dépôts caillouteux, entassés sur la rive gauche et y formant des collines importantes, ou couronnant celles dont la base est formée de roches en place.

Ces dépôts sont composés de blocs de granite ou de gneiss, plus ou moins arrondis aux angles, dans les parties inférieures de la vallée, et qui deviennent de plus en plus anguleux à mesure qu'on s'élève. Les blocs de schiste sont plus rares; cela se conçoit, car, en raison de leur friabilité, ils ont été pulvérisés après avoir subi un trajet assez long.

On y rencontre, en outre, de nombreux blocs de minéral de fer.

Ces blocs sont disposés de la manière la plus irrégulière dans une masse de boues plus ou moins agglutinées et de nature principalement argileuse; le sable vrai, siliceux ou autre, ne s'y trouve pas.

A certains endroits, notamment dans les vallées de Clara, de Taurinya et d'Aytua, les collines dont il vient d'être parlé présentent des escarpements verticaux qui en font voir la composition intérieure sur de grandes hauteurs. On constate ainsi que ces dépôts ne sont pas superficiels, mais qu'en beaucoup d'endroits ils forment la colline tout entière. Dans ces cas, les blocs de pierre y sont plus rares et l'épaisseur totale est formée de terres argileuses.

On ne peut manquer d'être frappé de la grande épaisseur de ces dépôts incohérents où toute trace de stratification fait défaut. Les éléments n'y sont pas, d'ailleurs, disposés par ordre de grandeur, et l'on y voit les gros mêlés aux petits dans un ordre quelconque suivant la verticale.

On doit donc immédiatement écarter l'hypothèse d'é-

boulis qui se reconnaissent aux caractères que nous venons de décrire, ainsi que celles d'alluvions dues aux dépôts formés par la rivière de la Têt.

Tout au plus pourrait-on les comparer aux dépôts laissés par la rivière après une forte crue pendant laquelle elle entraîne, pêle-mêle, des débris de toute sorte et de toute dimension, et qu'elle laisse à nu lorsque le volume des eaux a repris son état normal.

Nous allons donner d'abord les raisons qui doivent faire rejeter cette hypothèse et ensuite celles qui nous permettent de fixer, d'une manière positive, l'origine de ces dépôts.

Quoiqu'il en soit, l'hypothèse de Dufrénoy, que ces dépôts forment des terrains d'alluvion, nous paraît devoir être rejetée en raison même de leur composition intime, que nous avons fait connaître. Il y en a une autre encore: c'est l'altitude à laquelle s'élèvent ces dépôts, altitude qui a dû être bien plus considérable dans les temps passés, avant que les ravinelements puissants qui s'exercent dans ces régions ne l'eussent diminuée, pendant un nombre incalculable de siècles.

On remarquera, en effet, que le point le plus élevé du dépôt qui domine la vallée de Nyer, au delà d'Escaro, est à peu près à l'altitude 1.100 mètres, alors que le lit de la Têt n'est qu'à 600 mètres au point le plus voisin. La différence est de 500 mètres en nombre rond et l'on peut supposer qu'elle était à l'origine plus grande de quelques centaines de mètres. Comment admettre qu'une rivière, alimentée par un bassin aussi restreint, ait atteint une profondeur de plus de 500 mètres? Cette hypothèse reviendrait à lui attribuer une largeur de près de 6 kilomètres et un débit pouvant s'élever de 6 à 10 millions de mètres cubes à la seconde. Ces chiffres sont tellement fantastiques qu'ils suffisent, et au delà, à faire rejeter l'hypothèse.

La seule qui reste alors est celle qui consiste à attribuer ces dépôts au transport par les glaces, à les considérer, en d'autres termes, comme des moraines, plus ou moins remaniées.

Cette hypothèse s'impose, en quelque sorte, par la nécessité de rejeter toutes les autres, mais aussi, je me hâte de l'ajouter, par la ressemblance de ces dépôts avec ceux observés ailleurs et dont l'origine glaciaire a été nettement démontrée.

Mais il existe en sa faveur, des preuves positives et ce sont celles qu'il me reste à donner.

Il existait, il y a quelques années, aux portes de Prades, un bloc erratique en granite de quelques mètres cubes. Ce bloc intéressant a été malheureusement détruit avant que nous ayons pu en faire la description, et nous le regrettons d'autant plus que les blocs nettement erratiques sont rares dans la plaine du Roussillon.

En remontant la vallée de la Têt jusqu'à Joncet, on voit, sur la rive gauche, des dépôts de boues assez peu épais reposer sur les schistes de transition qui y forment des pentes extrêmement raides et juste en face de ce que nous appellerons la moraine d'Escaro, remarquable par ses dimensions et son altitude. Ces dépôts ont été puissamment déchiquetés par les eaux et présentent un grand nombre de pyramides tronquées ou même de prismes, surmontés par des blocs de gneiss de forme parallépipédique, aux angles et aux arêtes encore parfaitement vifs, placés horizontalement, et que l'on doit considérer comme des blocs erratiques.

Il est certain qu'il n'ont pas été roulés par les eaux, puisqu'ils sont anguleux. En outre, leur nature minéralogique prouve qu'ils viennent des montagnes en amont d'Escaro, sur la rive droite de la Têt, et enfin qu'ils ne peuvent provenir de celles de la rive gauche qui sont composées de schiste de transition et de calcaire dévonien.

Il faut donc admettre qu'ils ont été transportés par les glaces à l'altitude où on les trouve (jusqu'à 80 mètres au-dessus de la vallée), sur la rive gauche de la Têt où ils ont été déposés sur les amas de boues glaciaires qui, à cette époque, devaient recouvrir la vallée. Après leur entraînement, lorsque la vallée a été creusée à sa profondeur actuelle, les eaux de pluie ont raviné les dépôts laissés sur la rive gauche, ainsi qu'il a été dit.

Ce serait là ce qui reste de la moraine frontale du glacier d'Escaro.

Chaque bloc, comme une sorte de terrasse, a protégé le tronc de pyramide qui le supporte contre une dégradation complète, tandis que les colonnes de boues qui ne portent pas de blocs sont à sommet aigu et continuent à se dégrader de jour en jour. Enfin, certains de ces blocs portent des marques de stries.

Lorsqu'on étudie avec soin la moraine d'Escaro, on y trouve un certain nombre de blocs nettement burinés dans un ou deux sens, et d'autres sur lesquels on trouve la trace de véritables sillons provenant du frottement, sur leur surface, de fragments siliceux sous l'action progressive du glacier.

On peut également citer des exemples nombreux de roches moutonnées et polies qui sont, comme l'on sait, l'un des caractères les plus marquants de l'action des glaciers. Nous allons en donner quelques-uns.

Sur le Canigou, au-dessous de l'arête qui sépare le pic qui porte proprement ce nom, de celui des Treize-Vents qui en est le plus voisin, se trouve une espèce de cirque concave incomplètement fermé, du côté du sud, par un bombement rocheux en micaschistes compacts très siliceux et grenatifères. On y voit une anfractuosité qui livre passage à un ruisseau. Dans son voisinage, les roches sont nettement moutonnées et les flancs inclinés de la concavité sont lisses et présentent une surface bosselée

sur une grande étendue, en hauteur comme en direction, qui brille au soleil comme un miroir en raison du poli qu'elle a reçu. On y reconnaît l'action caractéristique d'un glacier.

Ce qui nous confirme dans cette opinion, c'est qu'un peu plus bas, à l'endroit où le ravin s'évase fortement on ne remarque plus que peu de traces du polissage de la roche, recouverte d'ailleurs d'éboulis sur une grande étendue. Il est clair que ce ne sont pas ces fragments pierreux, de chute récente, et à arêtes très vives, qui ont produit en amont le phénomène si remarquable de polissage dont nous venons de parler. Ce phénomène ne peut davantage être attribué à l'écoulement des eaux d'orage, attendu que la quantité qui peut en tomber de l'étroite crête qui domine cet endroit, est très faible et ne peut avoir qu'une action mécanique insignifiante. L'action des glaces est donc certaine.

C'est à ce glacier du Canigou que l'on doit probablement attribuer les deux belles moraines qui dominent les deux flancs de la vallée du Vernet et qui nous représentent ce qui reste de ses moraines latérales et une portion de moraine médiane.

La vallée du Vernet, dirigée à peu près du nord au sud, débouche, par une fente étroite, dans celle de la Têt à Villefranche-de-Conflant : la direction de la vallée de la Têt est en moyenne E. 35° N. Comme celle du Vernet elle traverse, par une coupure relativement étroite, quoique bien plus large que l'autre, un massif de calcaire dévonien (calcaire et calcschistes à goniatites). Les deux portions de ce massif laissées sur la rive gauche de la Têt par l'intersection des deux vallées ont été les obstacles contre lesquels se sont arrêtées les moraines et forment deux promontoires recouverts par les terrains glaciaires à 1 kilomètre environ du confluent des vallées.

Ce qu'il y a de remarquable, d'ailleurs, c'est que l'on

trouve, sur ces promontoires de calcaire dévonien, quelques blocs erratiques anguleux en gneiss à un niveau bien plus élevé que celui qu'occupe actuellement la moraine à son contact avec le calcaire : il y a de ces blocs qui sont de plusieurs mètres cubes.

Un autre exemple analogue se trouve dans la vallée de Carol, qui descend du col de Puymorens : le torrent qui la parcourt va se jeter dans la Sègre près de Puycerda, non loin de la frontière.

La roche dominante dans cette vallée est le granite, qui en forme le fond et les flancs sur presque toute sa longueur. On y voit des roches moutonnées dans la cuvette de la vallée et bien polies sur les flancs jusqu'à une hauteur qui s'élève environ à 100 mètres au-dessus du lit actuel du torrent; et ce phénomène se continue sur près de 20 kilomètres.

Les mêmes raisons que nous avons données pour la vallée de la Têt militent ici, à fortiori, en faveur de l'action par les glaciers. Les moraines latérales se trouvent de chaque côté, vers l'aval, et la moraine frontale forme la majeure partie de la colline qui porte la forteresse espagnole de Puycerda.

Il ne reste plus que des traces superficielles de la moraine de gauche qui, vers le village de la Tour de Carol, recouvre des schistes de transition sur une faible épaisseur, au point qu'il n'en subsiste, par endroits, que des blocs épais jusqu'à plus de 200 mètres au-dessus de la vallée; et, plus loin, d'Enweigt à Ur, les boues glaciaires recouvrent des terrains arénacés en strates inclinées, affleurant par petites places, et que nous rapporterons au terrain pliocène, ainsi qu'il sera expliqué lors de la description du terrain tertiaire dans les mémoires destinés à accompagner la carte du département.

Il n'est pas sans intérêt de dire ici quelques mots du terrain glaciaire qui recouvre comme d'un manteau, le

port ou col de Puymorens (1.931 mètres d'altitude). Ce terrain, qui n'est pas très épais, se trouve, au point de vue de la composition, fort analogue aux morainés de la vallée de la Têt. On est, à bon droit, étonné de trouver dans cette situation une multitude de blocs de granite, alors que les pentes des montagnes qui séparent le col sont en schiste ardoisier de part et d'autre.

On est surtout étonné de trouver de ces blocs isolés, à une grande hauteur, sur la montagne qui en forme le versant oriental.

Les montagnes granitiques les plus voisines sont, d'une part, les sommets élevés du massif d'où descend la rivière de l'Ariège, sur les limites de l'Andorre et situés au sud-ouest par rapport au col de Puymorens; de l'autre, la crête du versant gauche de la vallée de Font-Vive qui, réunie à Porté au petit ruisseau qui descend du col, forme la rivière de Carol : cette rivière se jette dans la Sègre en aval de Puycerda, sur la frontière espagnole.

Les blocs granitiques descendus de cette dernière crête n'ont pu descendre que dans la vallée de Font-Vive à un niveau inférieur de quelques centaines de mètres à celui du col. Ceux que la pesanteur ou les eaux auraient fait descendre de l'autre massif granitique ne pouvaient également arriver qu'à un niveau inférieur au col en suivant les pentes (voir la carte).

On imaginerait difficilement une terrasse d'alluvion à une altitude de plus de 1.900 mètres et à un col!

La seule hypothèse admissible est donc celle qui attribue la présence des blocs de granite en ce lieu, au transport par les glaces; et ils paraissent provenir du massif montagneux qui domine les sources de l'Ariège, car il est impossible que les glaces aient traversé la vallée si profonde de Font-Vive.

Il existe d'ailleurs une particularité remarquable qui confirme cette opinion, c'est le polissage des roches de la

vallée de Carol et l'existence, dans cette vallée, de roches moutonnées alors que celles de la vallée de Font-Vive sont à arêtes vives et ne présentent aucune des traces de l'action glaciaire; c'est ce qui démontre que cette action n'a pas eu pour origine les montagnes granitiques qui se rattachent au massif de Carlitte.

On pourrait multiplier ces exemples; nous avons cru devoir nous borner à signaler les deux plus remarquables du département.

Nous pouvons encore donner une autre preuve, indirecte celle-là, de l'existence d'anciens glaciers; nous la tirons de la présence de fragments très nombreux de minerai de fer dans toutes les moraines de la vallée de la Têt.

Les gîtes de minerais de fer, dans cette région, forment des bandes dirigées sensiblement E.-O. et sont situés dans le terrain de transition, à quelques kilomètres au sud de la vallée. Les collines morainiques recouvrent toute une partie du terrain de transition en commençant peu au nord des gîtes de fer, de telle sorte que le terrain de transition se trouve, actuellement, dans une situation intermédiaire entre elles et les roches granitoïdes dont elles sont principalement formées. Ces masses d'éboulis, entraînés par les glaces, ont raboté en quelque sorte le schiste de transition ainsi que les affleurements des gîtes de fer, dont les débris se trouvent mêlés aux fragments de granite et de gneiss, mais en moindre quantité, naturellement.

Ce qu'il y a de curieux, en outre, c'est que les gîtes les plus élevés se trouvent sur le versant droit de la vallée de Nyer et qu'aucune moraine ne se trouve en amont de ce point dans la vallée de la Têt. Il serait donc absolument impossible d'expliquer la présence de nombreux blocs de minerai de fer dans l'intérieur de ce que nous appelons des moraines, si elles étaient le résultat d'un dépôt d'alluvions de la Têt.

Il est incontestable qu'il existe dans les Pyrénées des terrasses d'alluvions, et nous pourrions en citer des exemples remarquables dans deux départements limitrophes, l'Ariège et la Haute-Garonne. Il y en a, d'ailleurs, dans les autres départements pyrénéens. Elles présentent alors tous les véritables caractères de dépôts opérés par une rivière et de terrasses horizontales disposées en gradins; mais il nous a été impossible d'en découvrir dans les Pyrénées-Orientales; ou plutôt, nous en connaissons un exemple, en miniature, dont nous dirons quelques mots.

Dans la vallée même de la Têt (*), sur la rive gauche entre Serdinya et Joncet, on trouve à 20 ou 25 mètres au-dessus du lit de la rivière une bande, longue de quelques kilomètres, excessivement étroite et composée de dépôts d'alluvions bien caractérisés, c'est-à-dire disposés en lits sensiblement horizontaux.

L'existence de ce dépôt, loin d'infirmier notre théorie des moraines, la confirme au contraire d'une façon éclatante par le contraste qu'il présente avec le terrain glaciaire contre lequel il s'appuie; mais il est tellement restreint, comme épaisseur et comme largeur, qu'il serait impossible de le figurer sur une carte, même à grande échelle.

Ce cas restreint et exceptionnel n'a donc d'importance qu'en raison de l'appui qu'il donne à la théorie glaciaire, en juxtaposant des dépôts d'un caractère et d'une provenance si différents.

Il existe un fait qui, tout d'abord, peut jeter quelque doute sur la nature de ces dépôts, c'est l'existence, dans les régions inférieures, c'est-à-dire en se rapprochant de la Têt, de nombreux cailloux à arêtes et à angles fortement arrondis. Je ne considère pas que ce fait puisse constituer une objection sérieuse.

(*) Il existe, dans la vallée du Tech, une trace analogue des alluvions anciennes.

On peut, en effet, admettre que les parties les plus basses de ces dépôts ne sont pas en place, mais qu'elles ont été remaniées par les eaux d'orage ou plutôt par celles provenant de la fonte des glaciers supérieurs, lorsqu'ils se furent retirés dans la haute montagne. Ce phénomène s'observe d'ailleurs, sous forme identique, dans les moraines des anciens glaciers de la Suisse, notamment dans celle de Lucerne. Nous aurions même jugé inutile d'en faire mention, si l'on ne s'en était servi comme d'une objection contre la théorie glaciaire.

III. *Description des moraines.* — Nous avons dit que les moraines de cette région sont toutes dirigées du sud au nord et s'arrêtent dans le voisinage de la Têt, où elles ont été rongées par les eaux de la vallée, comme, par exemple, celle qui aboutit à Prades, ou arrêtées par un massif rocheux élevé, comme les calcaires dévoniens de Villefranche ou la colline granitique de Rodès, la disposition de ces deux formations en place étant identique, dans les deux cas, par rapport au terrain glaciaire. Le massif granitique qui se trouve sur la rive gauche de la Têt et qui y acquiert un développement très considérable a été coupé du côté de Rodès, où il est resté, sur la rive droite, un petit massif de 100 mètres de hauteur environ recouvert, à sa base méridionale, par la moraine comme l'ont été les calcaires dévoniens à Villefranche: nous avons déjà signalé cette particularité.

On comprend alors aisément comment il se fait qu'on ne trouve pas trace de moraines frontales: il n'y a eu d'exception, comme on a vu, que pour celle d'Escaro.

Pour ce qui concerne les moraines profondes, elles ont été enlevées en grande partie par les affluents torrentueux de la Têt sur les rives desquels on n'en trouve plus que des vestiges peu importants. Celle qui a laissé le plus de traces se trouve dans la vallée de Vinça et provient, sans

doute, du glacier qui existait dans la vallée de Velmanya, sur le front oriental du Canigou.

Il existe encore d'autres vestiges de la période glaciaire dans les Pyrénées-Orientales. On peut citer, à cet égard, l'exemple du massif de Carlitte, qui tire son nom du pic de ce nom, et dont il a déjà été question à l'occasion du glacier de la vallée de Carol.

Ce massif forme un pentagone irrégulier limité par les vallées de l'Aude, à l'est, de la Sègre, au sud, de la rivière de Carol, de l'Ariège et de l'Oriège, à l'ouest et au nord-ouest, et, enfin, par le ruisseau de Galbe, au nord.

Il s'étend, en réalité, plus loin au nord, jusqu'au bas de Quérigut; mais il est interrompu par la profonde coupure du ruisseau de Galbe, de telle sorte qu'on peut admettre que ce fossé abrupt le divise en deux parties dont la partie nord peut être envisagée séparément.

Il y a encore une autre raison qui nous a conduit à admettre cette limite, c'est qu'elle coïncide avec celle du système dévonien qui commence près de Villefranche et qui forme, dans le département, un des horizons géologiques les mieux caractérisés.

Enfin, la majeure partie du massif secondaire, au nord de la vallée de Galbe, se trouve dans le département de l'Ariège.

Compris dans les limites ci-dessus définies, le massif de Carlitte a un périmètre de plus de 70 kilomètres de tour. De tous les côtés, l'accès en est très difficile, si ce n'est de celui de Montlouis où, en raison de l'altitude du point de départ (1.600 mètres), l'ascension des contreforts est beaucoup plus facile.

Vu du sommet du pic Carlitte (2.921 mètres), il a l'aspect d'un vaste plateau, au niveau moyen de 2.000 mètres, parsemé d'étangs et de lacs, dont l'un, celui de Lanoux, a 2 kilomètres de longueur, et entre lesquels s'élèvent des pics coniques de 4 à 800 mètres d'élévation.

Quelques-uns de ces étangs sont sans issue; d'autres s'écoulent dans des rivières qui, en petit nombre, échancrent les bords du plateau. Parmi ces rivières une seule, l'Aude (qui n'est encore qu'un petit torrent), a une importance géographique.

Ces étangs sont en très grand nombre et il y en a une trentaine assez considérables. Il est évident que la fréquence d'un pareil phénomène ne peut être attribuée au hasard et qu'une cause générale a dû présider à la formation de ce grand nombre de cavités, remplies non seulement par les eaux de pluie, mais encore, et surtout, par la fusion des neiges qui, à ces hauteurs, ne disparaissent jamais complètement.

Ce qu'il y a de singulier et de paradoxal, en apparence, c'est que ce sont précisément ceux de ces réservoirs naturels sans issue qui se dessèchent en été, tandis que les autres alimentent des ruisseaux permanents.

La raison en est que les premiers ont très peu d'étendue et de profondeur et contiennent, par conséquent, peu d'eau. En outre leur cuvette étant très plate, cela indique qu'ils sont assez éloignés des sommets. Ceux-ci sont, pendant une grande partie de l'année, recouverts de neige, dont la fusion alimente, en été, les étangs à écoulement permanent.

Il est très probable qu'à des périodes géologiques antérieures, où le double phénomène de la chute des neiges et de leur fusion a été bien plus puissant que de nos jours, les digues qui s'opposaient à l'écoulement de l'eau ont été rompues. Nous en voulons pour preuve les fissures plus ou moins étroites qui existent dans les bombements rocheux qu'on observe à l'aval de chacun des étangs à écoulement, et qui, actuellement encore, leur servent de déversoir naturel.

Au contraire, les étangs des plateaux n'ont qu'une existence pour ainsi dire accidentelle.

On prévoit ainsi la connexité qui existe entre le phénomène qui a creusé la cuvette des lacs et celui qui les a remplis d'eau. Ce double phénomène ne peut être attribué qu'aux glaces qui devaient exister sur ces hauteurs en masses énormes et qui sont aujourd'hui remplacées par des névés, dont il ne reste que de faibles traces en été. Les grandes cavités ont été creusées d'abord, puis alimentées par des glaciers plus grands que ceux des petites cavités.

Comme confirmation de cette hypothèse, qui présente déjà un fort caractère de probabilité, il y a lieu de citer l'existence de nombreuses parois de roches polies; et il est probable que s'il n'y en a pas davantage cela tient, soit au peu de ténacité de la roche composée de micaschiste et de schiste, soit aux dégradations importantes qu'elles ont subies dans la suite des temps.

Enfin, comme dernière preuve, nous citerons l'existence de trois moraines au pied de ce massif: celle de la Tour-de-Carol, dont nous avons déjà parlé; la petite moraine d'Angoustrine qui a été emportée en majeure partie par les eaux; enfin celle qui s'étend de Montlouis à Llagone.

Dans une région voisine on rencontre les *Gourgs* ou étangs de Nohèdes, situés sur le versant oriental du massif de Madres (2.471 mètres d'altitude), qui, dans des proportions bien moindres, fait vis-à-vis à celui de Carlitte. Ces étangs offrent une analogie complète avec les autres et, en aval, on trouve un amas de roches détritiques, sur une étendue de plus de 2 kilomètres suivant la vallée, qui ne présente pas, il est vrai, les caractères aussi tranchés d'un dépôt morainique; mais on peut lui attribuer cette origine par analogie, surtout à cause du polissage énergique subi par les parois rocheuses en amont, polissage dont les traces se sont conservées sur de grandes hauteurs au-dessus du fond de la vallée. Cette moraine a tous les caractères d'une moraine frontale qui a été tra-

versée par la rivière de Nohèdes, dont la puissance destructive n'a jamais été suffisante pour entraîner, d'une façon complète, l'immense dépôt laissé par le glacier, dans sa retraite.

Tous les anciens glaciers dont nous avons reconnu jusqu'ici les traces se trouvent au nord du Canigou.

On doit se demander s'il n'y en a pas eu sur le versant méridional de ce massif montagneux. Nous avouons que toutes nos recherches, à cet égard, ont été vaines, à moins qu'on ne considère comme un vestige morainique un amas peu considérable de blocs granitiques mêlés de boues un peu en amont d'Arles-sur-Tech, petite ville située sur le Tech.

De là à conclure qu'il n'y a pas eu de glaciers sur ce versant du Canigou, il y a loin.

Cependant il ne serait pas impossible que les glaciers se soient moins étendus vers le midi que vers le nord, et cela pour plusieurs raisons: l'exposition d'abord et, ensuite, le développement moindre des hautes montagnes, circonstances toutes deux favorables au maintien d'une température plus élevée.

On peut encore conclure à l'exactitude de cette hypothèse (celle de l'importance moindre des glaciers vers le sud), de ce fait que les pentes méridionales du Canigou sont beaucoup plus régulières que celles exposées au nord et n'ont pas été, comme elles, creusées en sillons profonds, aux parois abruptes, qui forment les vallées actuelles.

L'uniformité des pentes (qui n'est ici que relative, bien entendu) exclut, en effet, l'existence de puissants moyens de creusement et d'érosion tels qu'en offraient les glaciers, dont la puissance de transport a dépassé toutes les actions naturelles que l'on connaisse.

Le seul indice en faveur de l'hypothèse des glaciers qui fasse souvent défaut, c'est celui des roches striées,

tandis qu'en Suisse et en Norvège il s'offre souvent sur une grande étendue.

Ainsi qu'il a été dit, les seules roches bien nettement striées et burinées que nous ayons trouvées, existent sur les hauteurs qui dominent Escaro au nord. On en trouve encore en d'autres endroits, notamment au pied du pic des Treize-Vents ; mais, en cet endroit comme en d'autres, les stries sont moins nettes et on ne les rencontre pas d'une façon courante.

La raison s'en trouve, je crois, dans la nature des roches aussi bien que dans les dégradations qu'elles ont subies depuis l'époque glaciaire, dégradations dont peu de montagnes présentent un exemple aussi remarquable que les Pyrénées. Cette raison a même, à nos yeux, une si grande importance qu'il peut paraître inutile d'en chercher une autre.

Nous avons cité, plus haut, l'exemple de roches moutonnées, situées dans le Canigou, au pied du pic des Treize-Vents ; il y a lieu d'ajouter qu'en amont de ce point se trouve un petit lac analogue à ceux du massif de Carlitte ou des *Gourgs* de Nohèdes. Ce lac est également alimenté par des névés qui ne disparaissent jamais complètement, même en été. L'eau du trop plein traverse, par une fissure assez large, la masse des roches moutonnées, et c'est ce qui complète l'analogie avec les autres cas que nous avons relatés.

Tous ces lacs présentent encore d'autres circonstances communes : c'est qu'ils sont creusés dans le micaschiste et que leur cuvette est à peu près plate et peu profonde. On les dirait façonnés par un rabot gigantesque, se mouvant horizontalement, et dont le mouvement de progression s'est arrêté lorsqu'il a rencontré l'obstacle de roches trop dures. Le rabot a été ici le fond du glacier ; mais, en raison de la plasticité de la glace, celle-ci a pu se mouler par-dessus l'obstacle, tout en le polissant vigou-

reusement à l'aide d'un émeri qui était composé de fragments de roches détachées au fond dans son mouvement de progression ; et c'est ainsi que nous avons le phénomène des roches polies et moutonnées.

En résumé, l'existence d'anciens glaciers dans les Pyrénées-Orientales nous est révélée par des masses énormes alignées de débris détritiques semblables à celles qui, dans d'autres pays, ont été reconnues d'origine glaciaire. Les montagnes en amont de ces dépôts en ont fourni les matériaux et ont gardé l'empreinte de l'action des glaces. Voilà pour les preuves positives, qui se trouvent ici en assez grand nombre pour justifier l'hypothèse que nous avons émise à l'encontre de géologues dont les observations sont déjà anciennes.

Enfin, nous croyons avoir démontré que les autres hypothèses auxquelles on pourrait avoir recours pour expliquer ces dépôts, doivent toutes être rejetées comme étant inconciliables avec les faits.

Il est intéressant de rapprocher ces observations de celles de M. Martins, qui datent déjà de longues années et que l'on trouve reproduites dans le tome XI du *Bulletin* de la Société géologique de France (2^e série).

M. Martins a reconnu les moraines du versant septentrional du Canigou, notamment celles de la vallée du Vernet.

Il cite également celle de Montlouis à Llagone, dont nous venons de parler, et mentionne les blocs erratiques gigantesques qu'on rencontre sur la colline qui, au-dessus de Montlouis, domine la rive gauche de la Têt.

Enfin, il donne une description partielle des moraines de la vallée de Carol et il estime que les traces de l'action glaciaire, dans cette vallée, roches polies et moutonnées, dépassent en grandeur et en étendue tous ceux de même nature qui ont été observés dans les Alpes. Nous avons spécialement insisté sur ces phénomènes et nous sommes

heureux de nous rencontrer, sur ce point, avec cet éminent géologue.

M. Martins considère la colline qui domine le village de Corneilla, au sud, comme la moraine médiane du glacier principal descendu du Canigou; nous y voyons plutôt la réunion des moraines latérales de deux glaciers voisins descendus dans les vallées de Vernet et de Fillols.

Mais il y a un point sur lequel l'opinion de M. Martins nous paraît absolument inadmissible, comme étant contraire aux faits : c'est lorsqu'il parle des fausses moraines sur les deux versants de la vallée du Vernet.

Dans le passage cité, il considère comme fausses moraines de soi-disant schistes à grands cristaux de feldspath qui auraient été décomposés sur place et qui forment des collines ayant absolument l'apparence de moraines.

En réalité, il n'y a pas de schistes en ces endroits. Les roches auxquels M. Martins fait allusion font partie de la bande antérieure de gneiss qu'on voit affleurer sur tout le versant septentrional du Canigou, entre le terrain de transition et les moraines vraies. Ce gneiss se retrouve au sud du terrain de transition et forme alors les pentes du massif montagneux qui porte le nom de Canigou, nom réservé sur la carte d'état-major au pic le plus élevé.

Ces gneiss sont de véritables granites stratifiés, que j'appellerai porphyroïdes, en raison du grand nombre de macles d'orthose blanc qu'ils contiennent; ces cristaux ont en majeure partie leurs arêtes principales parallèles à la stratification. Le gneiss de la bande antérieure s'est souvent décomposé sur place et il faut rencontrer des anfractuosités naturelles, assez rares d'ailleurs, où la roche a conservé son facies habituel, pour reconnaître qu'elle est *identique* comme composition et comme allure au gneiss qui forme les pentes du Canigou.

Cette question sera d'ailleurs développée lorsque nous

aborderons l'examen des terrains primaires. L'erreur manifeste de M. Martins tient probablement à ce qu'il n'a étudié qu'un canton très limité et un seul terrain de cette région pyrénéenne.

Lorsqu'au contraire on a étudié l'ensemble, des faits particuliers, qui paraissent constituer des anomalies locales, perdent leur caractère énigmatique et arrivent aisément à se ranger dans les règles générales.

C'est ainsi, qu'à première vue, il paraît difficile de séparer, sur la colline de la rive gauche de la vallée du Vernet, la bande antérieure de gneiss — ce que M. Martins appelait une fausse moraine — du terrain glaciaire proprement dit qui lui est juxtaposé. Lorsqu'au contraire on est arrivé à concevoir l'existence de toute la bande de gneiss, on s'étonna qu'on ait pu trouver des difficultés à tracer la limite qui les sépare du terrain glaciaire proprement dit et pour laquelle aucune hésitation ne peut subsister (*).

Nous avons dit plus haut que certaines des moraines, surtout dans les régions inférieures, contenaient des blocs aux arêtes et aux angles arrondis, sans insister sur les raisons de cet état de choses.

M. Benoît (**) s'était déjà posé cette question à l'occasion des moraines les mieux caractérisées des Vosges, où l'on est étonné de rencontrer tous les blocs aux arêtes et aux angles arrondis et l'explication qu'il en donne me paraît absolument rationnelle. Voici en quoi elle consiste : de même que l'on voit les montagnes se dégrader de nos jours, sous l'action des météores, de même ce phénomène de désagrégation a dû s'opérer, sur une vaste échelle,

(*) M. de Coligno rangeait ces fausses moraines dans le terrain diluvien et Magnan les plaçait à la base de la craie moyenne (*Mémoires de la Société géologique de France*, 1874). Ces deux opinions sont également erronées.

(**) *Société géologique de France*, 21 juin 1858.

pendant la durée des âges géologiques antérieurs. Il s'est produit ainsi des éboulis, dont nous avons fait connaître la nature et le mode de distribution, en ce qui concerne le département des Pyrénées-Orientales. Les agents atmosphériques n'ont cessé d'agir sur les éléments de ces roches et de les dégrader, cette dégradation allant de la surface vers le centre de chaque élément. Ces effets ont été d'autant plus intenses que les éboulis étaient d'origine plus ancienne. Ce sont ensuite ces matériaux altérés que les glaciers ont remaniés en leur faisant subir des effets mécaniques superficiels considérables. C'est ainsi que la surface des fragments rocheux, les angles et les arêtes ont été facilement dégradés et réduits en sable. Il n'est pas étonnant, dès lors, de retrouver les cailloux et fragments rocheux qui composent les moraines à angles et arêtes émoussés, et cela d'autant plus que les éboulis avaient une origine plus ancienne, c'est-à-dire que la montagne sur laquelle ils ont pris naissance, avait elle-même un âge plus considérable.

Cette explication est des plus rationnelles; elle trouve d'ailleurs une confirmation dans l'exemple même qui nous occupe. En effet, dans les Vosges, les blocs des moraines sont toujours arrondis, tandis que dans les Pyrénées, c'est l'exception. Or, entre l'apparition de ces deux chaînes de montagnes il y a toute la durée des formations jurassiques, crétacées, et une partie de celles tertiaires. Il y a encore une autre différence caractéristique entre les moraines de ces deux chaînes, c'est que celles des Vosges, montagnes plus anciennes, sont aussi beaucoup plus compactes tandis que celles des Pyrénées sont plus meubles; la différence d'âge des éléments qui les constituent en donne l'explication.

Nous trouvons enfin une dernière confirmation de l'opinion de M. Benoit dans ce fait que, dans les Pyrénées-Orientales, les blocs erratiques ont souvent les angles

partiellement arrondis et que leurs stries sont mal visibles ou corrodées, tandis que dans le centre même des moraines les blocs sont généralement bien anguleux et les stries, lorsqu'on peut les observer, assez nettes. Il arrive, d'ailleurs, ainsi que nous l'avons vu, que ces moraines se sont éboulées sur de grandes hauteurs et que ce phénomène, continuant à se produire de nos jours, nous permet d'examiner leur composition intérieure.

C'est précisément ainsi que nous trouvons l'explication de l'arrondissement des angles des blocs dans les parties basses des moraines, ces blocs étant naturellement ceux qui ont été le plus longtemps et roulés et soumis aux actions atmosphériques.

Nous nous sommes assez étendu sur la formation des nombreux lacs du plateau de Carlitte et d'autres qui se présentent dans des conditions analogues, et nous avons démontré qu'ils doivent leur existence au mouvement de progression des glaciers.

Nous trouvons une confirmation de cette manière de voir dans une opinion émise depuis longtemps déjà par M. G. de Mortillet (*). Le savant géologue suisse a appliqué cette théorie à la formation de certains lacs de la Suisse qui ne peut s'expliquer ni par le plissement de couches stratifiées ni par la dénudation due aux rivières. Il fait remarquer, d'ailleurs, que l'affouillement est toujours d'autant plus énergique que la roche est moins dure ou moins cohérente.

C'est ainsi que, dans les Pyrénées-Orientales, tous les lacs se trouvent creusés dans le micaschiste, roche dont la cohérence n'est pas énorme, tandis qu'il n'y en a pas dans le granite.

Il nous reste, en terminant ce chapitre, à signaler l'o-

(*) De l'action affouillante des glaciers, *Soc. géol.*, année 1863-64. Nous laissons cependant à M. de Mortillet la responsabilité de l'application de cette théorie à la formation des lacs suisses.

pinion de M. Garrigou relative aux glaciers des Pyrénées-Orientales.

M. Garrigou a étudié les glaciers des Pyrénées après M. Martins; il a notamment reconnu les traces des anciens glaciers dans la vallée de l'Ariège, puis dans celles du Tech et de la Têt (*), mais la plupart de ses descriptions sont extrêmement écourtées et se bornent généralement à des affirmations auprès desquelles il n'a pas placé la preuve.

Nous nous bornerons, par conséquent, à citer son opinion pour mémoire, à titre de confirmation de la nôtre, et pour n'omettre aucun des géologues qui se sont occupés de cette question.

M. Garrigou, affirme, d'autre part, qu'il a existé dans les Pyrénées-Orientales deux périodes glaciaires, dont l'une antérieure à celles reconnues jusqu'ici. Il en veut pour preuve la différence considérable entre l'altitude de deux séries de dépôts qui existent dans la vallée de l'Ariège. Comme il n'est pas, à cette occasion, parlé du département des Pyrénées-Orientales, nous ne savons pas si, dans l'opinion du savant médecin, il doit en être entendu de même pour ce qui concerne les vallées de la Têt ou du Tech.

Quoiqu'il en soit, la question mérite d'être examinée.

Il est d'abord un fait certain, c'est qu'on ne trouve, en aucune partie du département, le terrain pliocène recouvrant les moraines.

En Cerdagne, il est naturellement recouvert par elles, notamment au débouché de la vallée de Carol, ainsi qu'on l'a vu.

Dans le Conflant et le Roussillon, le pliocène s'appuie sur le granite, le terrain de transition ou le terrain secondaire et, en aval de Vinça, on voit les moraines et les

(*) *Soc. géol.*, année 1867-68.

terrains détritiques du pliocène marin occuper les mêmes niveaux à peu de distance l'un de l'autre.

On peut donc nier, avec certitude, l'existence d'une période glaciaire antérieure au pliocène; bien plus, il ne peut y en avoir eu qu'après le dépôt du pliocène supérieur, dont on voit un si beau développement en Cerdagne (*). Si donc il avait existé deux périodes glaciaires, elles ne pourraient qu'avoir été très rapprochées l'une de l'autre.

D'autre part, les dépôts glaciaires sont actuellement continus et remarquablement alignés; au point que l'hypothèse de deux périodes glaciaires entraînerait celle que les glaciers de l'une et de l'autre auraient exactement occupé le même emplacement. On peut aisément, croyons-nous, faire l'économie d'une pareille hypothèse, qui est au moins inutile. Lorsqu'on examine d'ailleurs l'immense masse morainique qui s'étend de la vallée de Taurinya à celle de Vinça, et qui a été peu diminuée depuis l'époque où elle a été déposée par les glaciers, on reconnaît facilement qu'elle est due à l'apparition d'un phénomène unique qui a agi d'une façon continue pendant toute sa durée.

En résumé, il n'existe pas, dans le département des Pyrénées-Orientales, un seul fait qui milite en faveur de l'hypothèse de deux périodes glaciaires distinctes.

Nous avons peu insisté sur la composition minéralogique des moraines des Pyrénées-Orientales. L'examen le plus attentif ne permet d'y trouver que du granite, du gneiss, du micaschiste, du schiste argileux, du minerai de fer, ou les débris arénacés de ces roches. On n'y ren-

(*) Il est même très étonnant que ce fait important ait été méconnu jusqu'ici.

contre pas les éléments des roches crétacées dont il existe encore des lambeaux sur la périphérie du Canigou.

Ce fait conduit à admettre une des deux hypothèses suivantes : ou le terrain crétacé, élevé à une grande hauteur par le soulèvement des roches primitives qui le supportent, s'est fortement dénudé pendant la période tertiaire au point de ne laisser sur les pentes du massif du Canigou que quelques lambeaux éloignés que les glaces n'ont pas atteints ; ou les terrains de cette formation se sont déposés sur un rivage relativement peu élevé au-dessus du niveau actuel de la mer et, en raison du peu d'étendue qu'ils ont ainsi acquis, dans la partie orientale et méridionale du département, se sont trouvés, même après le soulèvement du Canigou, en dehors de l'action des glaciers.

La seconde hypothèse nous paraît la plus probable. Il serait difficile de comprendre, en effet, comment, dans l'autre hypothèse, il ne soit pas resté en place un lambeau quelconque de crétacé à une altitude assez élevée pour être atteint par les glaces.

La première nécessiterait, d'ailleurs, de trouver l'explication des grandes dénudations qui se seraient produites pendant le temps compris entre le dépôt de la craie supérieure et celui du pliocène marin ; et l'on ne voit, actuellement, aucun fait de nature à justifier cette manière de voir.

Octobre 1884.

MÉMOIRE
SUR LA MÉTHODE DE CONGÉLATION
DE M. POETSCH
POUR LE FONÇAGE DES PUIITS DE MINES

EN TERRAINS AQUIFÈRES

Par M. F. LEBRETON, élève-ingénieur des mines.

Le fonçage d'un puits de mine dans un terrain aquifère présente des difficultés toujours considérables, quelquefois même insurmontables.

Les méthodes employées jusqu'ici pour la traversée des niveaux sont au nombre de cinq.

Dans les terrains doués d'une certaine consistance, et pour des venues d'eau telles qu'on puisse les combattre avec des pompes, on s'est servi longtemps de la méthode de la trousse picotée. Mais cette méthode, d'une application très difficile, très dangereuse et très onéreuse, est beaucoup moins employée aujourd'hui.

Dans les terrains à la fois aquifères et coulants, qui sont, en somme, les plus nombreux, on a employé successivement trois méthodes qui dérivent d'un même principe et sont des perfectionnements les unes des autres : ce sont :

La méthode de la trousse coupante ;

Le procédé Triger;

Le procédé Guibal.

Le caractère distinctif de ces trois méthodes consiste en ce que, au lieu de s'efforcer d'épuiser les eaux, on leur laisse prendre librement leur niveau naturel statique comme dans la première et dans la troisième, ou bien on les maintient à niveau bas dans le puits en leur opposant une pression convenable au moyen de l'air comprimé, comme dans le procédé Triger. Ces méthodes ont donc sur la trousse picotée, et sur tout procédé à niveau bas, le double avantage d'éviter les dépenses considérables qu'aurait exigées l'emploi de pompes puissantes, et de mettre le puits à l'abri des dangers que peuvent causer les affouillements visibles ou invisibles produits par les eaux affluant vers le puits. Malheureusement, ces méthodes ne sont applicables qu'à des terrains bouillants, capables de céder sous le poids de la trousse coupante, ou pouvant être facilement désagrégés et enlevés par grattage.

La cinquième méthode, applicable aussi bien aux terrains consistants qu'aux terrains bouillants, et qui réalise dans toute son intégrité le principe du fonçage à niveau plein, est le procédé Kind et Chaudron.

Il serait même plus juste de dire qu'il convient mieux aux terrains consistants qu'aux terrains bouillants, car, dans ces derniers, on se trouve obligé d'établir dans les parties sableuses un tubage provisoire qui a l'inconvénient de réduire le diamètre du puits.

Toutefois, avec la méthode Kind et Chaudron, toutes les difficultés qu'entraîne le fonçage d'un puits en terrain aquifère peuvent être résolues.

Toutes ces méthodes sont sujettes à des chances d'insuccès considérables et à des accidents, particulièrement pour la méthode Kind et Chaudron, qui peuvent retarder quelquefois beaucoup l'achèvement du puits ou même en

entraîner l'abandon. Dans tous les cas, aucune de ces méthodes ne permet de déterminer d'avance la durée du fonçage et la dépense qu'il exigera.

Depuis 1883, on emploie avec succès, en Allemagne, une méthode nouvelle due à M. Poetsch (d'Aschersleben), qui partage avec les méthodes à niveau plein l'avantage de ne causer aucune dépense d'épuisement et de ne pas troubler l'équilibre statique des eaux, et qui a, en outre, le mérite de permettre une évaluation assez précise, *à priori*, de la durée et du prix du fonçage.

Le présent mémoire a pour objet d'exposer et d'examiner les conditions d'application de cette méthode que j'ai vue fonctionner à Königs-Wusterhausen, près de Berlin, au mois de septembre 1884, pendant mon voyage de mission de deuxième année.

Principe de la méthode. — M. l'inspecteur général des mines Haton de la Goupillière l'énonce de la manière suivante, dans le bulletin de l'*Association scientifique de France* pour le mois d'avril 1884 et dans le second volume de son *Traité d'exploitation*, page 348 : « Elle (la « méthode) consiste à congeler l'eau contenue dans la « partie du terrain mouvant qui occupe la position du « puits projeté, de manière à en faire un bloc solide de « glace, puis à creuser à la main sans avoir d'eau à « pomper. »

Voici comment ce principe recevra son exécution :

Traçons sur le terrain un polygone semblable à celui qui limite la section du puits, et ayant ses côtés extérieurs et à une certaine distance, 0^m,50 à 1 mètre par exemple, des côtés de ce dernier; puis disposons sur le périmètre de ce polygone extérieur, à égale distance les uns des autres, une série de tubes verticaux qui traversent la couche aquifère et pénètrent d'une certaine longueur, 0^m,50 ou 0^m,60, dans la couche sous-jacente;

après avoir hermétiquement fermé ces tubes à leurs pieds et introduit au centre de chacun d'eux d'autres tubes plus petits ouverts aux deux extrémités, nous pourrions faire entrer par les petits tubes un liquide convenablement refroidi qui remontera par les espaces annulaires compris entre les grands et les petits tubes, en se chargeant d'un certain nombre de calories que le terrain lui abandonnera par conductibilité au travers du tube, pourvu que la température du liquide soit suffisamment inférieure à celle du terrain. En prolongeant la circulation du liquide pendant un temps suffisamment long, on arrivera à soustraire au terrain un nombre de calories assez grand pour amener la congélation autour de chacun des tubes d'une zone qui, en s'agrandissant progressivement, finira par réaliser la transformation complète du terrain où doit se trouver le puits en un bloc de glace. Dès lors il n'y aura plus qu'à creuser le puits directement sans plus rien avoir à redouter des eaux, en ayant soin naturellement de continuer la circulation du liquide pour maintenir la zone congelée.

Il s'agit donc d'étudier :

- 1° Le moyen d'obtenir la circulation du liquide froid ;
- 2° L'installation des tubes ;
- 3° La marche de la congélation ; la détermination des températures de marche normale à adopter pour le liquide réfrigérant en vue d'obtenir la congélation d'une zone déterminée ;
- 4° La détermination du volume congelé, des calories enlevées au terrain, du temps employé, de la dépense totale et de la distance à adopter pour les tubes en vue de réaliser le minimum de dépense ;
- 5° Le fonçage après que la congélation est terminée. Je passerai ensuite à l'examen de :
- 6° Applications déjà faites de la méthode et prix de revient du mètre courant ;

7° Applications possibles du procédé autres que le fonçage.

I. — CIRCULATION DU RÉFRIGÉRANT.

Liquide. — Il est tout d'abord évident que l'on devra faire usage d'un réfrigérant à température assez basse, parce que, les échanges de chaleur entre le terrain et le liquide étant proportionnels à la différence des températures, si ce dernier était à 0° ou à une température voisine, la couche au contact du tube ne tarderait pas à se mettre en équilibre de température avec lui ; tout échange cesserait, ou du moins la congélation resterait stationnaire et circonscrite dans une zone très étroite autour du tube. Il en résulte que le liquide employé devra être une solution saline assez chargée de sel pour que son point de solidification soit suffisamment abaissé. M. Poetsch fait usage d'une solution de chlorure de magnésium à 21° Baumé, qui renferme 19 p. 100 de Mg Cl anhydre ou bien d'une solution de chlorure de calcium qui a l'avantage de coûter moins cher. Sa densité est 1,17, sa chaleur spécifique est 0,90 d'après M. Poetsch. Son point de solidification est aux environs de 40°. Cette solution, mise en mouvement par une petite pompe, circule dans les tubes, comme je l'ai dit, puis passe dans le réfrigérant d'une machine à froid un temps suffisamment long pour abandonner les calories qu'elle avait gagnées au contact du terrain, et retourne à la pompe pour être envoyée de nouveau dans les tubes, accomplissant ainsi un cycle fermé. On arrive à réaliser une fermeture des tubes assez hermétique pour que les pertes en chlorure de magnésium soient insignifiantes.

Machine à froid. — Il reste à faire choix d'une machine à froid. Il en existe trois types principaux : la ma-

chine à air de M. P. Giffard, la machine à gaz liquéfiable acide sulfureux ou gaz ammoniac de M. Pictet, — ces deux types de machines sont à action mécanique, — et la machine à affinité, ou machine à ammoniacque, système Carré.

M. l'ingénieur des mines Ledoux, dans sa Théorie des machines à froid publiée, en 1878, dans les *Annales des mines* (livraison de juillet-août), a démontré que « dans « toutes les machines à froid, quand on opère entre les « mêmes limites de température dans le condenseur et « dans le réfrigérant, la quantité théorique de chaleur « négative produite est exactement la même par calorie « dépensée, soit directement dans la machine à affinité, « soit indirectement, sous forme de travail, dans les « machines à action mécanique.

« Seulement comme une calorie, représentée par « 424 kilogrammètres, coûte, dans les meilleures ma- « chines motrices, au moins 10 calories dépensées effec- « tivement dans un foyer, il résulte de là que la machine « à affinité présente théoriquement un avantage consi- « dérable sur toutes les autres, puisque la chaleur y est « employée directement et non sous la forme coûteuse « du travail mécanique. Pratiquement, cet avantage, qui « subsiste encore pour la machine à affinité, est néan- « moins bien inférieur à celui qui semblerait résulter des « chiffres ci-dessus. »

Et plus loin : « Celle-ci (la machine à affinité) a le « grand avantage de fournir des températures beaucoup « plus basses que la machine à acide sulfureux. On ne « peut guère descendre avec cette dernière au-dessous « de -12° dans le réfrigérant (qui serait insuffisante « pour la congélation du terrain), sous peine de diminuer « outre mesure son effet utile, tandis que la machine à « affinité donne couramment des températures de -25° « et -30° . »

A côté de ces considérations théoriques, je citerai la conclusion d'un rapport sur les différents appareils frigorifiques proposés en vue de la conservation des cadavres à la Morgue, fait en 1880 par une commission du conseil d'hygiène, ayant pour président M. Du Souich, inspecteur général des mines, et pour vice-président M. Luuyt, alors ingénieur en chef : « En résumé, l'appareil Carré, con- « struit par MM. Mignon et Rouart, n'exige qu'une force « motrice très faible; il tient peu de place; sa marche « est complètement silencieuse; il fonctionne à une « température plus basse que les autres machines, et « son rendement est supérieur. La dépense d'entretien « ne dépasse pas celle des autres machines à glace. »

La commission propose, pour la Morgue, l'emploi de la machine Carré.

La machine à froid, employée par M. Poetsch, est une machine à ammoniacque du système Carré. Les considérations développées plus haut justifient ce choix.

Je dois à l'obligeance de M. Weitz, directeur de la Société Poetsch et C^{ie}, les dessins annexés à ce mémoire (Pl. III, *fig.* 1 à 6), qui représentent en plan et en élévation la disposition de la machine installée à Königs-Wusterhausen.

Description succincte de la machine. — La marche d'une semblable machine comporte les opérations suivantes :

1^o Échauffement de la solution ammoniacale sous pression pouvant aller à 15 atmosphères et plus.

A Königs-Wusterhausen, cette pression était de 10 atmosphères. L'échauffement se faisait dans le cylindre horizontal I (Pl. III, *fig.* 1 et 2) au moyen d'un serpentin à circulation de vapeur fournie par des chaudières voisines.

2^o Séparation de l'ammoniacque de la vapeur d'eau entraînée.

Cet entraînement de vapeur d'eau est la principale cause de réduction du rendement de la machine, comme l'a montré M. Ledoux (*Théorie des machines à froid*).

La séparation doit donc être aussi complète que possible; elle a lieu dans le cylindre vertical II qui surmonte la chaudière à ammoniacque et qui est à cet effet muni intérieurement d'une série de godets renversés, disposés en chicanes sur la paroi, de façon à faire office de condenseur à chocs et à retenir le plus possible de la vapeur et des gouttelettes d'eau entraînées.

3° Refroidissement et liquéfaction du gaz sous sa propre pression.

Cette opération se fait dans le grand cylindre vertical III, le condenseur, qui renferme, comme on le voit en plan, dix serpentins dont huit sont parcourus par le gaz arrivant du cylindre vertical II par le tuyau marqué *abc* sur le plan, *fig. 2*.

Le gaz liquéfié se rassemble dans un petit cylindre vertical IV dont la section est visible sur le plan.

L'eau nécessaire au refroidissement du gaz est fournie par une petite pompe à eau XIII.

Il faut ensuite :

4° Reprendre la solution faible dans la chaudière, la refroidir et l'amener au contact du gaz ammoniac vaporisé en favorisant la dissolution par le refroidissement à la température ambiante.

5° Reprendre la solution reformée, l'échauffer par échange de calorique avec la solution épuisée et la réintroduire dans la chaudière.

Ces deux opérations s'exécutent dans les deux cylindres désignés sous les noms de *vase d'absorption* (VIII) et *réchauffeur* ou *échangeur de température* (IX). Dans le premier arrivent : d'une part, le gaz ammoniac à sa sortie des serpentins du réfrigérant V-VI et du refroidisseur VII où

la solution venant du puits commence à se refroidir avant d'arriver au réfrigérant (le tube qui mène le gaz ammoniac est indiqué sur le plan en *gh*); d'autre part, la solution ammoniacale faible qui, sortie du bas du cylindre horizontal par le tuyau représenté en *klm*, a traversé deux serpentins du réchauffeur, puis deux serpentins du condenseur pour achever de se refroidir. La dissolution du gaz s'effectue; le liquide riche, plus léger, qui se trouve à la partie supérieure, est pris par la pompe à ammoniacque XI au moyen du tube *op*, envoyé dans les serpentins du réchauffeur, où il se charge des calories cédées à l'eau qui remplit ce cylindre par la solution pauvre, et enfin à la partie supérieure de la chaudière où il rentre à peu près ramené à la température moyenne du liquide qu'elle contient.

Il faut ajouter que le vase d'absorption doit être refroidi extérieurement par un courant d'eau froide, à cause de la chaleur qui se dégage dans la dissolution du gaz ammoniac. Sinon, la température du vase d'absorption s'élèverait rapidement, et, la solubilité du gaz diminuant avec la température, la dissolution ne se ferait bientôt plus, et l'appareil cesserait de fonctionner. C'est là une nouvelle cause de perte sur le rendement.

On voit, d'après cela, que l'ammoniacque décrit un circuit fermé *abcdefgh* pour le gaz, *klmn* pour la solution pauvre, *opqstu* pour la solution riche; il en est de même pour la solution de MgCl, dont le parcours est ABCDEFA.

La sortie du liquide pauvre de la chaudière est réglée par un robinet *r*, l'écoulement de l'ammoniacque liquide dans les serpentins du réfrigérant est réglé par un autre robinet *r'*; toute la marche de l'appareil repose sur le réglage de ces deux robinets *r* et *r'* et de la pompe. On peut, en le modifiant, faire varier la pression et par suite la température dans le réfrigérant.

II. — INSTALLATION DES TUBES.

Lorsqu'on a déterminé l'espacement qu'il convient de donner aux tubes, on les répartit sur le périmètre du polygone extérieur au puits dont j'ai déjà parlé, et on fore les trous verticaux qui sont destinés à les loger. Si le terrain est assez facile pour cela, on se sert pour les creuser de la pompe à sable et l'on fait suivre immédiatement le tube qui doit servir de revêtement au trou. Si le terrain est trop consistant pour permettre l'emploi de la pompe, on pourra faire les trous par de petits sondages à la main dans lesquels il est peu probable qu'on rencontre de difficultés et qui se feront rapidement, d'autant plus qu'on pourra en faire plusieurs à la fois sur les différents côtés du puits. Dans tous les cas, ces trous seront poussés jusqu'à la partie inférieure du niveau aquifère et même un peu au delà dans le terrain sous-jacent.

M. Poetsch a adopté pour le diamètre de ses trous 0^m,22. Il n'y aurait aucun intérêt à réduire ce diamètre, et l'on introduirait certainement des complications dans le forage des trous. Il emploie comme tubes des cylindres en tôle de 0^m,004 d'épaisseur. On serait tenté, *à priori*, de les faire en cuivre, pensant que la plus grande rapidité de la congélation, due à la plus grande conductibilité du cuivre, viendrait compenser l'excès de dépense que cela occasionnerait. Il n'en est rien pourtant, et les expériences personnelles de M. Poetsch lui ont montré que, si la congélation marchait plus vite autour d'un tube en cuivre pendant les premiers instants, cette différence diminuait ensuite rapidement, et qu'au bout de cinq jours, l'épaisseur de la partie congelée était sensiblement la même autour des deux tubes (*).

(*) D^r Max Weitz, *Abteufen der Schächten, Bohrlöchern, Strecken*

J'ai supposé (*fig. 7*) que l'on installe les tubes à partir de la surface, ce que l'on fera généralement si le niveau aquifère est lui-même à peu de distance du sol, mais il peut se faire qu'il soit à une certaine profondeur et que l'on ait avantage à ne pas donner aux tubes une longueur trop grande. Alors, ou bien (*fig. 8*) on creusera le puits tout entier sur la section du polygone des tubes jusqu'à ce qu'on arrive au niveau, ou bien (*fig. 9*), s'il est à une profondeur trop grande, on creusera le puits sur sa section propre, à la manière ordinaire jusqu'au moment où on arrivera au niveau. Mais il faudra avoir eu soin de s'élargir un peu sur les parois du puits, de façon que la section arrive à être au moins égale à celle du polygone des tubes, et qu'on puisse placer ces derniers en dehors de la section utile du puits. On comprend facilement, en effet, que si on est obligé (et c'est ce qui est arrivé à Schneidlingen) de disposer les tubes sur la section même du puits, on sera très gêné lorsqu'il s'agira de creuser et qu'on aura très grande chance, en outre, de les détériorer. Cette disposition permet donc en principe d'agir à toute profondeur du niveau aquifère. Toutefois, le forage des trous au fond d'un puits en fonçage pourra présenter des difficultés, peu considérables si le terrain permet l'emploi de la pompe à sable, mais s'il faut réellement forer et installer au fond des chèvres, qui exigeront une hauteur libre de 3 à 4 mètres ou 5 mètres sur les parois, les difficultés augmenteront, sans être insurmontables toutefois. Il faut, il est vrai, considérer aussi que si la profondeur devenait trop grande, la circulation de la solution de chlorure de magnésium exigerait une pompe et une tuyauterie assez considérables pour résister aux pressions qui en résulteraient.

und Ausschachtungen aller Art in wasserreichen und schwimmenden Gebirgen. (Extrait du *Zeitschrift für Berg, Hütten und Salinen-Wesen*, XXXI.)

Quoi qu'il en soit, et quel que soit le cas particulier, on aura toujours, les tubes étant placés, à les fermer hermétiquement par le bas, à installer le tube central et la pièce de tête qui sert à amener la solution froide dans le tube central, et à emmener la solution réchauffée après qu'elle a circulé dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes.

Les figures 5 et 6, Pl. III, représentent ce mode de fermeture et cette pièce de tête. La forme de cette *pièce de bout* (*Fussende*, fig. 6) a une importance considérable, car, avec la disposition indiquée, le liquide, sortant en ss assez loin du pied du tube, ne se renouvelle pas au fond du tube et la congélation ne se propage pas nettement vers le bas (*) comme l'attendait l'inventeur, comptant sur cette circonstance pour parfaire la fermeture du puits vers le bas et l'isoler complètement des eaux extérieures. De là des accidents probables si l'on n'a pas bien soin d'enfoncer les tubes d'au moins 0^m,50 ou 1 mètre dans la couche subordonnée au niveau. Il serait sans doute facile de modifier le pied du tube central (en forme de reniflard, par exemple) de manière à atteindre le fond du tube. Les tuyaux portent à leur pied un ajutage intérieur tronconique dans lequel on introduit d'en haut des bouchons en plomb qui ferment les tuyaux par le bas. On les vide ensuite et l'on rend la fermeture inférieure hermétique par des couches de 6 centimètres de ciment, 6 centimètres de gypse, 6 centimètres d'argile, avec du goudron, et enfin une rondelle de tôle bien ajustée; puis on introduit les tuyaux centraux, ouverts par le bas sur les côtés, qui doivent servir à amener la solution.

En opérant de cette manière il arrivait que parfois une pression trop forte exercée sur le bouchon en plomb lui

(*) Cette remarque m'a été faite par mon ami, M. Alby, élève-ingénieur des ponts et chaussées.

faisait traverser complètement l'ajutage conique intérieur et abandonner entièrement le tube. Il en résultait naturellement de nouvelles difficultés et une perte de temps pour refaire la fermeture du tube, outre la perte de la solution, le dégel de la masse déjà congelée et le temps qu'il faudra dépenser pour ramener à la congélation une masse liquide dont la présence du sel aura abaissé le point de solidification. M. Poetsch a évité cet inconvénient de la manière suivante, qui paraît un peu paradoxale et que je rapporte en traduisant littéralement (Dr Max Weitz: *Die Poetsch'sche Methode zum Abteufen... wie ihre neuesten Anwendungen*. Berlin, 1885, chez Max Pasch, königl. Hofbuchhandlung, p. 9). Il enlève complètement l'épaulement conique intérieur, et après que les tubes sont enfoncés de 50 centimètres dans la couche immédiatement inférieure au sable aquifère, il y introduit un cylindre haut de 50 centimètres constitué par de fort carton ayant 5 millimètres d'épaisseur. Ce cylindre est fendu suivant une génératrice de manière à pouvoir être roulé pour la descente; lorsqu'il arrive en bas il se déroule et s'applique fortement contre la paroi du tube; le bouchon en plomb est ensuite appliqué le plus fortement possible par-dessus, sans qu'il puisse aller au delà comme auparavant. On ajoute ensuite les différentes couches destinées à obtenir l'étanchéité parfaite de la fermeture. Ce système a donné, paraît-il, de très bons résultats à Königs-Wusterhausen et a permis d'aller beaucoup plus vite dans l'installation des tubes.

M. Poetsch a pu encore obtenir plus de rapidité et de sécurité dans l'installation des tubes de la manière suivante, expérimentée par lui à la mine « Emilie » près de Finsterwald. Elle consiste simplement, au lieu de tuber directement les trous de sonde avec les tuyaux qui doivent servir à la circulation du réfrigérant, ce qui met alors dans la nécessité de les fermer seulement lorsqu'ils sont

en place et exige une opération longue et difficile, de munir les trous de sonde d'un tubage provisoire et d'y descendre ensuite, avec toutes les facilités désirables, les tubes montés et fermés à la surface. La fermeture des tubes est alors beaucoup plus facile et bien mieux faite. On pourrait même la constituer avec un bouchon métallique vissé qui faciliterait beaucoup la propagation de la congélation vers le bas. Il est toutefois nécessaire pour cela que les trous soient bien rectilignes, sinon on ne peut pas facilement y introduire les tubes, qui se coincent, et on est obligé, comme il est arrivé pour quelques-uns de ceux de Finsterwald, de tuber directement avec les tuyaux de circulation du réfrigérant.

Enfin il y a une dernière précaution à prendre dans l'installation des tubes, qui est très essentielle et dont l'oubli a été pour beaucoup dans l'insuccès de M. Poetsch à la Max Grube à Michalkowitz : c'est de soumettre, avant de les mettre en service, les tubes déjà placés à une épreuve à la presse pour vérifier si la fermeture inférieure et les joints sont capables de supporter la pression à laquelle ils seront soumis. M. Poetsch fait cette épreuve au moins au double; par exemple, à Königs-Wusterhausen, le calcul lui indiquait une pression de 4 atmosphères sur le bouchon, il a fait l'essai à 10. Ce n'est là qu'un essai sous pression intérieure; il serait probablement utile également de soumettre les tubes à un essai sous pression extérieure comme on le fait pour les tubes des locomotives. L'expérience de Michalkowitz, où les tubes ont cédé et ont pris une section elliptique, et où, par suite de quelques oscillations semblables, les bouchons des tubes ont fini par changer de forme au point de ne plus fermer hermétiquement et de nécessiter des réparations qui ont absorbé tout le délai stipulé dans son traité par M. Poetsch et l'ont obligé à abandonner le puits, suffirait à le démontrer.

La pièce de tête a une disposition très simple et facile à comprendre à la seule inspection du dessin (*fig. 5*).

Tous les tuyaux centraux aboutissent à un tuyau unique *abcd* qui fait le tour du puits et qui amène la solution froide. C'est le tuyau de distribution (*fig. 3*).

Les tuyaux latéraux aboutissent également à un tuyau unique *a'b'c'd'* parallèle au premier, qui emmène la solution sortant du puits à la machine. C'est le tuyau collecteur. Des robinets placés aux points de jonction permettent d'isoler un quelconque des tubes en cas d'accident.

Après l'achèvement du fonçage, il est très facile, soit en attendant le dégel naturel du terrain, soit en l'activant autour des tubes par la circulation d'une solution chaude, de retirer ceux-ci, qui peuvent servir pour une nouvelle opération.

III. — MARCHE DE LA CONGÉLATION.

La machine à froid et les tubes étant ainsi installés, il n'y a plus qu'à faire circuler dans ces derniers le liquide froid fourni par la première.

Que va-t-il alors se passer? Le liquide, arrivant, au début, au fond du tube pour remonter ensuite jusqu'à la surface, va trouver le terrain à une température beaucoup plus élevée que la sienne, se charger de calories qui lui seront cédées par conductibilité au travers du tube et sortir à une température plus élevée, c'est-à-dire plus voisine de zéro que celle à laquelle il est entré. En même temps, le terrain se refroidira autour du tube, et ce refroidissement déterminera entre cette première zone et les zones plus éloignées et plus chaudes un échange de chaleur qui aura pour effet d'abaisser la température de celles-ci et de transmettre ainsi de proche en proche l'action refroidissante du tube. Les

premières portions du liquide qui ont circulé dans le tube sont donc celles qui ont trouvé le terrain avec sa température maxima, et qui, par conséquent, ont reçu de lui le plus de calories; l'écart maximum entre les températures d'entrée et de sortie du liquide se manifesterà donc au début de l'opération. Il est d'ailleurs évident que, les échanges de chaleur étant proportionnels à la conductibilité du métal, cet écart maximum et le refroidissement de la première zone du terrain seront plus grands avec des tubes en cuivre qu'avec des tubes en fer. Le refroidissement sera d'ailleurs d'autant plus intense que la température d'entrée du liquide sera plus basse.

A partir de là le même effet se reproduira indéfiniment avec une intensité décroissante, et le refroidissement se propagera de proche en proche dans le terrain environnant, jusqu'au moment où la température de la première zone aura été suffisamment abaissée pour que l'eau qu'elle contient se congèle en dégageant sa chaleur latente de fusion. La zone voisine amenée à une température très voisine de 0 degré se congèlera ensuite, et ainsi de suite. On conçoit facilement qu'au début, jusqu'à la congélation de la première zone, et ensuite pour quelques-unes des suivantes jusqu'à une petite distance du tube, la conductibilité du métal qui le constitue joue le plus grand rôle dans la rapidité du refroidissement; mais à partir de ce moment, la chaleur des zones extérieures à la partie déjà congelée ne peut plus se transmettre au tuyau qu'à travers une épaisseur relativement considérable du terrain congelé; l'on conçoit qu'alors la conductibilité propre de ce terrain joue un rôle qui devient prépondérant, et la conductibilité du métal n'a plus qu'une influence très faible sur la rapidité du refroidissement et la progression des zones congelées.

Si nous voulons pénétrer plus avant dans l'étude de la question, il devient nécessaire d'examiner les choses de plus près, de suivre pas à pas la solution froide introduite dans un tube et d'étudier ce qui s'y passe. Nous ne savons à son égard qu'une chose, c'est qu'introduite dans le tube central à une certaine température θ_0 au-dessous de 0° , elle en sort par l'espace annulaire compris entre les deux tubes à une température θ_2 plus élevée que θ_0 . Entre ces deux données extrêmes nous ne savons rien; quelle est, en particulier, la température θ_1 de la solution au pied du tube au moment où elle sort du tube central pour passer dans le grand tube et commencer son office de réfrigérant? Nous l'ignorons absolument. Or, il est bien évident que, dans ce double parcours en sens inverse des deux solutions, l'une descendant à l'intérieur du petit tube et froide, l'autre remontant à l'extérieur et déjà réchauffée, il y aura échange de chaleur à travers la paroi du tube central; d'autant plus que la solution la plus froide se trouve au contact de la plus chaude. La première subira donc un échauffement, et il n'y aurait rien d'impossible, *à priori*, à ce que, entrée à θ_0 et sortant à θ_2 , elle eût au pied du tube une température égale ou même supérieure à θ_2 (*). On conçoit en effet qu'en remontant au contact du terrain la solution se trouve soumise à deux actions contraires: l'une de réchauffement de la part du terrain, l'autre de refroidissement de la part de la solution enfermée dans le petit tube. L'un ou l'autre de ces effets l'emportera suivant les conditions, et il y aura, du pied du tube au sommet, ou bien échauffement de la solution ($\theta_1 > \theta_2$), ou bien refroidissement ($\theta_1 < \theta_2$) (θ_1 et θ_2 sont les valeurs absolues). Il est d'ailleurs évident que ces échanges de chaleur inté-

(*) Je dois également cette indication à mon ami, M. Alby, élève-ingénieur des ponts et chaussées.

rieurs n'ont extérieurement aucune influence, et que l'écart $\theta_0 - \theta_2$ correspondra toujours et dans tous les cas à la chaleur enlevée au terrain, puisque lui seul peut en fournir; mais ces échanges ont une grande importance en ce sens que, si la température au pied du tube θ_1 est plus basse que θ_2 , on pourra compter sur une surépaisseur vers le bas de la masse congelée qui affectera alors une forme de tronc de cône ayant sa grande base en bas. Si $\theta_1 = \theta_2$ la masse congelée sera cylindrique, si θ_1 est plus élevée que θ_2 la masse congelée sera tronconique, mais renversée.

Considérons donc dans le tube central de rayon ρ la portion de cylindre comprise entre deux plans infiniment voisins à distances y et $y + dy$ du sommet du tube. Je désigne par γ la conductibilité du métal et par η son épaisseur. J'admets, pour simplifier et ne pas être obligé de tenir compte des mouvements des deux liquides, que la différence de température δ qui existe en ce point entre les deux faces du tube est uniquement fonction de y . La quantité de chaleur qui traverse cet élément de surface cylindrique dans le temps dt est

$$2\pi\rho dy \frac{\delta}{\eta} \gamma dt.$$

Elle est égale à la quantité de chaleur emportée par la solution intérieure au petit tube, qui a été en contact avec cet élément pendant ce temps dt ; c'est-à-dire, Π étant le poids en kilogrammes du liquide circulant dans l'unité de temps, C sa chaleur spécifique et $-d\tau$ la variation de sa température de y à $y + dy$ (τ désignant la valeur absolue de cette température), égale à

$$-\Pi \eta dt d\tau.$$

Donc :

$$2\pi\rho dy \frac{\delta}{\eta} \gamma dt = -\Pi \eta dt d\tau,$$

d'où

$$d\tau = -\frac{2\pi\rho\gamma}{\Pi\eta} \delta dy \quad \tau = -\frac{2\pi\rho\gamma}{\Pi\eta} \int_0^y \delta dy.$$

Il est impossible de savoir quelle est la loi de variation de δ . Nous savons seulement que $\delta = \theta_0 - \theta_2 = \delta_0$ pour $y = 0$ et que $\delta = 0$ pour $y = h$. En raison de la petitesse constatée de δ_0 (3° à 6°), j'admettrai la loi simple

$$\delta = \delta_0 - \frac{\delta_0}{h} y,$$

h étant la hauteur du tube.

L'intégration donne alors, en exprimant que $\tau = \theta_0$ pour $y = 0$,

$$\tau = \theta_0 + \frac{2\pi\rho\gamma}{\Pi\eta} \delta_0 \left[\frac{y^2}{2h} - y \right],$$

pour $y = h$, $\tau = \theta_1$

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2\pi\rho\gamma}{\Pi\eta} \delta_0 \left[\frac{h^2}{2h} - h \right],$$

d'où

$$(a) \quad \theta_0 - \theta_1 = \frac{\pi\rho\gamma}{\Pi\eta} h \delta_0;$$

d'ailleurs

$$\theta_0 - \theta_2 = \delta_0.$$

Retranchant membre à membre, j'obtiens :

$$(b) \quad \theta_1 - \theta_2 = \delta_0 \left[1 - \frac{\pi\rho\gamma}{\Pi\eta} h \right],$$

δ_0 étant essentiellement positif, on aura la surépaisseur de la masse congelée autour du tube :

$$\text{dans le bas, si } \theta_1 > \theta_2, \text{ c'est-à-dire si } h < \frac{\Pi\eta}{\pi\rho\gamma},$$

$$\text{dans le haut, si } \theta_1 < \theta_2, \text{ c'est-à-dire si } h > \frac{\Pi\eta}{\pi\rho\gamma}.$$

Il est d'ailleurs facile de vérifier que le second membre, commun à ces deux inégalités, est bien homogène à une

longueur. Cette longueur est très facile à déterminer quand on possède les éléments de la question, et l'on dispose de C et de Π pour la faire varier. On est toutefois assez restreint pour Π , car, comme on ne peut guère augmenter que la vitesse, on arrivera forcément à une limite que l'on ne pourra pas dépasser, soit en raison de l'inconvénient qu'il y a à donner aux liquides de trop grandes vitesses, soit en raison de ce que le passage de la solution au contact du terrain et dans le réfrigérant de la machine étant trop rapide, les échanges de chaleur n'auraient plus le temps de s'effectuer. On pourra agir sur C et par là même sur Π en modifiant la proportion de MgCl contenue dans la solution.

Si l'on fait le calcul de cette longueur avec les données de la Grube-Centrum à Königs-Wusterhausen qui sont (voir plus loin) : $\Pi = 1404$ kilogr. par heure et par tube, $\rho = 0,015$, $\eta = 0,002$ et en prenant pour γ le nombre donné par Péclet (*Traité de la chaleur*, 2^e édition, t. III) $\gamma = 28$ calories par heure à travers une plaque de fer de 1 mètre carré et de 1 mètre d'épaisseur, les températures des deux faces différant de 1 degré, on trouve que cette longueur est égale à 1^m,70. Mais il faut observer que ce chiffre de 28 calories a été obtenu par Péclet en prenant les précautions les plus minutieuses pour le renouvellement des liquides au contact des deux faces du métal expérimenté, ce qui n'est assurément pas le cas ici, étant donné le phénomène bien connu d'écoulement des liquides dans un tuyau, que l'on a assimilé au développement des tubes d'une lunette. Péclet a même soin de dire (t. I, p. 292) : « Ainsi, quoique les lois de la transmission à travers les plaques, admises par les physiciens, soient exactes, ces lois ne sont point applicables à la transmission de la chaleur d'un liquide à un autre à travers une plaque métallique et l'on peut admettre que dans les limites d'épaisseur généralement

employées, la nature et l'épaisseur du métal sont sans influence sensible. » (Le résultat obtenu par M. Poetsch avec des tubes en fer et en cuivre est bien conforme à ceci.) Il serait donc fort utile et intéressant de pouvoir déterminer directement, dans les conditions où nous sommes placés, la valeur qu'il conviendrait de donner à γ . Cette expérience serait assez simple à faire avec le matériel dont dispose M. Poetsch. N'ayant pas de donnée exacte, je serai obligé d'avoir recours à un moyen d'appréciation par analogie, qui pourra du moins donner une indication, en attendant mieux. Péclet cite, immédiatement avant le passage que je transcrivais plus haut, des expériences de Clément dans lesquelles ce physicien a trouvé qu'il passait par seconde et par mètre carré d'une plaque de cuivre de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, 15 unités de chaleur pour une différence de température de 72°, soit 0,23 pour une différence de 1°; puis des expériences de Thomas et Laurens dans lesquelles ils ont trouvé qu'il passait par seconde, dans les mêmes conditions, 1,22 unités de chaleur pour une différence de 1°. La différence des deux nombres provient des conditions différentes de l'expérience. Admettons la moyenne, soit 0,72, ce qui fait par heure 2592 unités par mètre carré d'une plaque de cuivre de 2 millimètres d'épaisseur, ou 5,18 unités pour une plaque de 1 mètre. Pour le fer, le nombre à adopter pour γ doit être à peu de chose près le même, puisque, d'après Péclet, dans ces conditions « la nature et l'épaisseur du métal sont sans influence. » Prenons, par exemple, $\gamma = 4$. Ce chiffre est probablement trop fort. La vitesse de circulation des liquides doit avoir une très grande importance. Quant à C, le chiffre 0,90 donné par M. Poetsch est trop fort; une dissolution renfermant 19 de MgCl anhydre pour 100 d'eau correspond en effet à une dissolution renfermant 1 Mg²Cl² (ou 95^g,4) pour 27,7 H²O², et M. Berthelot donne, dans le tome I

de sa *Mécanique chimique*, les chiffres suivants pour les chaleurs spécifiques des dissolutions de chlorure de magnésium.

	10 H ² O ²	15 H ² O ²	25 H ² O ²	50 H ² O ²	100 H ² O ²	200 H ² O ²	
Mg ² Cl ² = 95,4	"	0,6824	0,7716	{ 0,8607	{ 0,9245	{ 0,9581	Entre 18° et 23°
				{ 0,8665	{ 0,9235	{ 0,9394	22° 52°

La valeur de C comprise entre 0,7716 et 0,8607 peut être prise égale à 0,79. Ces chaleurs spécifiques sont prises entre 18° et 52°. Nous admettrons, n'ayant pas d'expériences spéciales, qu'elles ne subissent pas de grandes variations aux basses températures où la solution est employée.

Dans ces conditions on trouve :

$$\frac{C \pi \eta}{\omega \rho \gamma} = \frac{0,79 \times 1404 \times 0,002}{3,14 \times 0,015 \times 4} = 11,80, \text{ soit } 12 \text{ mètres.}$$

En partant du chiffre 0,23 on trouve $\frac{C \pi \eta}{\omega \rho \gamma} = 28$ mètres.

La question reste donc très indécise; il importerait d'avoir des expériences pour la préciser davantage.

Quoi qu'il en soit, en raison des avantages considérables qu'il y a à avoir une surépaisseur de la masse congelée vers le bas, il faudra toujours s'arranger de manière à être dans ce cas en agissant sur C ou sur II si la hauteur h du niveau est trop grande. Il est facile de voir, en effet, que si la surépaisseur est au pied du tube on sera sûr, lorsque la congélation aura atteint au sommet une épaisseur suffisante, que la masse sera au moins aussi considérable au pied, et l'on pourra commencer le fonçage en toute sécurité; sinon, on n'aura plus aucune donnée précise et l'on sera obligé d'attendre un temps indéterminé, mais assez long pour qu'on soit sûr de la prise au pied des tubes.

Je supposerai donc, dans tout ce qui va suivre, que l'on est dans ce cas; c'est-à-dire que θ_1 est $> \theta_2$. Il ne sera jamais question que de θ_1 ; pour avoir la valeur cor-

respondante de θ_0 il suffira de faire la correction donnée par la formule α .

On peut admettre que la propagation du refroidissement se fait symétriquement dans toutes les directions autour d'un tube considéré isolément, abstraction faite des dissymétries produites par un changement trop considérable dans la conductibilité du terrain en certains points. Il en résulte que les sections de la surface qui limite la zone déjà congelée, à un moment donné, par les différents plans horizontaux, seront circulaires; d'ailleurs, la solution arrivant plus froide au pied du tube, le refroidissement y sera plus rapide qu'à la partie supérieure, en sorte qu'à un instant déterminé, les rayons des sections de la zone congelée iront en décroissant depuis le bas du tube jusqu'en haut, et cette zone figurera, en gros, un tronc de cône. (En réalité, comme on le verra plus loin, la méridienne de la surface, au lieu d'être une droite, est une courbe logarithmique.) Si donc nous considérons simultanément deux tubes voisins, il arrivera, au bout d'un certain temps, que les sections des deux zones congelées par le plan de base commun viendront au contact, au milieu A de la droite qui joint leurs centres (*fig. 10*). La congélation continuant son progrès dans le plan, la section des deux zones, au lieu d'être un système de deux cercles, sera constituée par deux segments ayant pour corde commune la droite MN perpendiculaire à la ligne des centres des tubes. (En réalité la courbe est une lemniscate.)

Dans le plan infiniment voisin du plan de base, le contact se fera un peu après, puis viendra le contact dans le plan suivant, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il se soit produit sur toute la hauteur des tubes et du terrain aquifère. Les zones congelées, ainsi soudées l'une à l'autre, constitueront alors une masse unique, et si l'on étend à tous les tubes qui entourent comme d'une ceinture le

puits projeté, on voit qu'il arrivera un moment où il se sera formé une barrière entièrement imperméable entre le terrain aquifère extérieur et l'intérieur du puits.

A partir de ce moment, rien n'empêche plus d'effectuer le fonçage; on n'aura plus, alors, affaire qu'à une quantité d'eau relativement faible, celle qui imprégnait le terrain où se trouve le puits, qu'il ne sera pas difficile d'épuiser, même sans pompe, simplement avec des seaux manœuvrés par un treuil. Ces eaux ne se renouvellent pas, en effet; les tubes pénétrant dans la couche imperméable subordonnée au niveau, interdisent toute communication. On peut toutefois, si l'on veut, éviter même un épuisement aussi faible en poursuivant la congélation. Il est en effet évident que la masse du terrain isolée au milieu de la barrière formée par le terrain congelé ne peut rester à une température supérieure; il s'établit des échanges de chaleur et l'équilibre n'est possible que lorsque le terrain a cédé tout son excès de chaleur. Il constitue en somme un réservoir limité au milieu de sources froides à température constante; il doit arriver théoriquement à se mettre à la même température qu'elles. Le terrain qui enveloppe le système des tubes forme au contraire un réservoir illimité, et la congélation y progressera jusqu'à ce que la surface enveloppée soit telle que la chaleur transmise par conductibilité soit la même à travers toutes les surfaces isothermes, et qu'il n'y ait nulle part ni échauffement ni refroidissement. La quantité de chaleur ainsi transmise est égale à celle qui est emportée par la solution; on pourra donc régler les températures d'entrée et de sortie de façon à ne pas congeler inutilement une masse de terrain trop grande.

On voit donc qu'il y aura deux manières d'opérer, selon qu'on considérera la congélation du terrain comme devant fournir seulement une barrière protectrice contre

les eaux extérieures au puits, et alors on commencera le fonçage aussitôt que cette barrière se sera formée, ou bien qu'on demandera à la méthode la transformation complète de tout le terrain en une masse solide dans laquelle le fonçage pourra se faire sans exiger aucun épuisement, et alors on ne commencera à creuser le puits qu'après avoir continué la congélation après la formation de la barrière un temps suffisamment long pour amener la prise en masse du terrain tout entier.

M. Poetsch a opéré de la seconde manière à Schneidlingen et à Königs-Wusterhausen.

Il opère actuellement de la première manière (Weitz, *loc. cit.*, page 13), et pour éviter que le puits tout entier ne gèle pendant le fonçage, ne pouvant pas arrêter complètement la machine à froid, il diminue son activité en lui faisant produire de la glace. Il est vrai qu'on n'arrive pas complètement au but en opérant ainsi, car le puits, entouré de masses froides à température constante, doit arriver à se mettre à leur température, que la machine soit en pleine marche ou non. Toutefois, et même dans ces conditions, on y trouve de réels avantages :

1° On évite cette période de la congélation postérieure à la formation de la barrière, diminuant ainsi la durée totale du fonçage, et économisant autant de journées de marche de la machine à froid.

2° On n'a qu'une dépense insignifiante, comme je l'ai déjà dit, pour l'épuisement des eaux, limitées à celles qui imprègnent la colonne de terrain où se trouve le puits;

3° Enfin et surtout, on a de grandes facilités pour creuser le puits, particulièrement dans les terrains sableux bouillants, si on laisse au terrain sableux à enlever son inconsistance naturelle. L'obstacle des eaux étant supprimé, on peut réaliser un avancement très rapide.

Au contraire, en congelant toute la masse du puits, M. Poetsch n'est arrivé, à Königs-Wusterhausen, à réaliser dans le fonçage qu'un avancement de 1 mètre en quatre ou cinq jours, lequel aurait pu être facilement quadruplé si l'on n'avait pas tout congelé. On aurait donc ainsi encore l'avantage de diminuer la durée du fonçage et de faire de nouvelles économies sur les journées de marche de la machine à froid.

Températures de marche normale à adopter pour le liquide réfrigérant en vue d'obtenir la congélation d'une zone déterminée. — Telle est donc la manière dont on peut concevoir la marche de la congélation à travers la masse du terrain. Toutefois, ce qui précède suppose essentiellement une chose, c'est que les zones congelées autour de deux tubes consécutifs viennent à se joindre. Or il se peut parfaitement que la distance des tubes, la température du liquide froid, que rien ne fixe *a priori*, et la hauteur sur laquelle se fait sentir l'action réfrigérante, soient telles que cela ne puisse pas arriver; si l'état permanent dont j'ai parlé, c'est-à-dire celui où la quantité de chaleur qui traverse à un moment donné une surface isotherme quelconque autour d'un tube est la même pour toutes, arrive à s'établir avant, il n'y aura plus alors nulle part ni échauffement ni refroidissement, et les températures resteront stationnaires. Cet état ne s'établira jamais, en réalité, qu'au bout d'un temps théoriquement infini, mais il n'en est pas moins vrai qu'il y aura, à partir d'un certain moment, convergence vers cet état limite, et que, dès lors, la congélation ne fera plus que des progrès insensibles. On pourra toujours, il est vrai, éviter cet écueil en rapprochant assez les tubes et en donnant au liquide une température suffisamment basse, mais on augmentera ainsi notablement les dépenses d'installation des tubes et on aura beaucoup de chance aussi pour dépasser le but et

faire que, la jonction des zones congelées étant opérée, la congélation continue encore au delà, sans aucune utilité, dans la masse du terrain environnant. On serait conduit ainsi à prendre une machine trop forte, et l'on aurait, en somme, une exagération de dépense.

Je vais essayer, autant qu'on peut le faire théoriquement, de déterminer la température que doit avoir le liquide à la sortie d'un tube pour que la zone congelée ait à la surface, le régime permanent étant établi, un rayon déterminé. Dans les mêmes conditions, on peut apprécier l'échauffement que subit la solution en traversant le tube; on pourra donc en déduire la température d'entrée du liquide, qu'il faudra réaliser dans le réfrigérant de la machine à froid. On peut de même évaluer la quantité de chaleur que le liquide enlèvera au terrain par unité de temps, et déterminer par conséquent le choix de la machine à employer et ses températures de marche. La question dépend toutefois d'un nombre de variables trop considérable, pour qu'il soit possible de considérer ces résultats comme absolus; ils ne sont et ne peuvent être que des indications, susceptibles de subir des modifications suivant les cas particuliers.

Soit donc un tube de hauteur h , de rayon extérieur r_1 , dans lequel circule une solution qui entre à la température θ_1 et sort à la température θ_2 (ce sont les valeurs absolues de ces températures au-dessous de 0°). Il est entouré d'une masse du terrain congelé dont je désignerai la conductibilité par K , qui a pour rayon à la surface r_0 et au pied du tube r_n . Le poids de liquide qui traverse le tube dans l'unité de temps est Π en kilogrammes, sa chaleur spécifique est C . Je vais chercher à déterminer les relations qui existent entre r_0 et les autres données de la question, *dans l'hypothèse du régime permanent*.

J'admettrai, en outre, que la propagation de la chaleur du terrain au tube se fait dans le sens horizontal, ce qui

est admissible, deux points situés sur une même verticale et infiniment voisins ayant sensiblement la même température, et de plus qu'elle est symétrique, c'est-à-dire que dans un plan horizontal les courbes isothermes sont des circonférences.

Cela posé, considérons, dans un plan horizontal à la distance y de la surface, la courbe isotherme de rayon r , et soit u sa température qui, d'après l'hypothèse, est seulement fonction de r ; admettons qu'on puisse prendre pour portion de surface isotherme u , à partir de y , l'élément de cylindre infiniment petit de rayon r et de hauteur dy compris entre le plan y et le plan infiniment voisin $y - dy$; la quantité de chaleur qui traverse cet élément de surface dans le temps dt aura pour expression

$$K \ 2\pi r \ dy \ \frac{du}{dr} \ dt.$$

Elle doit être indépendante de r et égale à la quantité de chaleur emportée par la solution dans le même temps, qui est

$$C\Pi \ dt \ d\theta,$$

$d\theta$ étant la variation de température de la solution entre y et $y - dy$.

On devra donc avoir :

$$K \ 2\pi r \ \frac{du}{dr} = C\Pi \ \frac{d\theta}{dy}.$$

Il est impossible de savoir quelle est la loi de la variation de θ suivant la profondeur, mais, la différence des températures d'entrée et de sortie de la solution étant assez faible, on peut admettre que cette loi est linéaire et poser :

$$\theta = \theta_2 - \frac{\theta_2 - \theta_1}{h} y;$$

(θ désigne la valeur absolue au-dessous de 0°), d'où

$$\frac{d\theta}{dy} = - \frac{\theta_2 - \theta_1}{h},$$

et

$$K \times 2\pi r \ \frac{du}{dr} = - C\Pi \ \frac{\theta_2 - \theta_1}{h} = C\Pi \ \frac{\theta_1 - \theta_2}{h}.$$

$C\Pi(\theta_1 - \theta_2)$ représente la quantité de chaleur emportée par la solution pendant l'unité de temps, je la représente par Q ; j'aurai alors

$$\frac{du}{dr} = \frac{Q}{2\pi K h} \frac{dr}{r};$$

$$u = \frac{Q}{2\pi K h} \ln r + \text{constante},$$

pour $r = r_1$, $u = -\theta$, donc

$$-\theta = \frac{Q}{2\pi K h} \ln r_1 + \text{constante};$$

par soustraction

$$(1) \quad u + \theta = \frac{Q}{2\pi K h} \ln \frac{r}{r_1}.$$

La limite de la zone congelée pour un plan horizontal quelconque est donc donnée par

$$(2) \quad \theta = \frac{Q}{2\pi K h} \ln \frac{r}{r_1},$$

où r est cette limite, et θ la température du liquide au même niveau.

En faisant le calcul avec $K = 2$ (d'après Everett: *Unités et constantes physiques*), $Q = 3330$, $h = 30$, on trouve pour

$$\begin{aligned} \theta = 10^\circ & \quad r = 1^{\text{m}},35 \\ \theta = 15^\circ & \quad r = 5 \text{ mètres} \\ \theta = 20^\circ & \quad r = 18^{\text{m}},30 \end{aligned}$$

Les distances ainsi calculées n'ont qu'une valeur relative à cause de l'incertitude qui règne sur K et sur Q .

(cas de Königs-Wusterhausen, page 141); donc, à la surface, on aura :

$$\theta_2 = \frac{Q}{2\pi K h} l \frac{r_0}{r_1},$$

ou

$$(3) \quad 2\pi K \frac{h\theta_2}{Q} = l \frac{r_0}{r_1}.$$

Telle est la relation qui existe entre le rayon r_0 , de la zone congelée, la hauteur du tube, la température de sortie, la quantité de chaleur par unité de temps et la conductibilité du terrain congelé. Il n'est pas nécessaire d'étudier la répartition des températures autour du pied du tube. J'admettrai qu'on a eu soin de l'enfoncer suffisamment, (page 122) dans la couche inférieure.

Cette relation ne serait pas suffisante pour déterminer complètement la marche de la machine, mais nous pouvons déterminer Q d'une autre manière.

Considérons, en effet, toujours, les deux plans horizontaux y et $y - dy$, θ étant la température de la solution à cette profondeur, τ celle du terrain au voisinage du tube, ε l'épaisseur du tube, γ sa conductibilité, il passera au travers de la surface cylindrique $2\pi r_1 dy$ pendant le temps dt une quantité de chaleur

$$dQ = 2\pi r_1 dy \gamma \frac{\tau - \theta}{\varepsilon} dt.$$

La quantité de chaleur emportée par la solution dans l'unité de temps sera donc

$$Q = \frac{2\pi r_1 \gamma}{\varepsilon} \int_0^1 dt \int_0^h (\tau - \theta) dy,$$

En réalité $\tau - \theta$ peut varier le long du tube, mais supposons-le constant et désignons par Δ cette différence de température moyenne, nous aurons

$$Q = \frac{2\pi r_1 \gamma}{\varepsilon} \Delta h.$$

Nous n'avons aucun moyen d'évaluer *a priori* la différence de température Δ qui s'établit entre deux faces d'une paroi métallique dans ces conditions, nous sommes donc obligés de nous adresser à l'expérience pour la déterminer.

Je prendrai le cas de Königs-Wusterhausen, où, comme on le verra plus loin, le poids du liquide qui traverse un tube par heure est de 1.404 kilogrammes, la chaleur spécifique du liquide étant 0,79; on a, la température de la solution s'élevant de 3° (les conditions d'observation de cet écart de 3° n'en garantissent pas suffisamment l'exactitude) dans son parcours, et la hauteur h étant 30 mètres :

$$Q = 1404 \times 0,79 \times 3 = 3330 \text{ calories.}$$

$$2\pi r_1 = 0^m,69 \quad \varepsilon = 0,004$$

Quant à la conductibilité γ , nous avons vu déjà (page 131) combien il était difficile de lui assigner une valeur dans ces conditions. Si l'on calcule Q en partant de la valeur $\gamma = 0,23$ (rapportée à la seconde) trouvée par Clément, on trouve

$$\Delta = \frac{3330}{0,69 \times 30 \times 828} = 0^o,2.$$

Si l'on part de la moyenne 0,72 entre le chiffre de Clément et celui de Thomas et Laurens, on trouve :

$$\Delta = \frac{3330 \cdot 0,72}{0,69 \times 30 \times 2600} = 0^o,064.$$

C'est la différence moyenne de température qu'il faut supposer entre l'extérieur et l'intérieur du tube de Königs-Wusterhausen. Si nous admettons le même chiffre pour le cas général (il semble en effet assez hors de doute qu'au bout d'un temps suffisamment long la même différence de température s'établira entre les deux parois d'un tube de même nature et de même épaisseur, dans

ces conditions déterminées, quelle que soit la valeur absolue des températures ; cet état d'équilibre dépend uniquement de la conductibilité du métal, nous arrivons à ce résultat que, l'état permanent étant établi, la solution enlève au terrain *par heure et par tube* un nombre de calories (kilogramme-degré) représenté numériquement par :

$$(4) \quad Q = 111 h,$$

h étant exprimé en mètres. En multipliant le nombre ainsi obtenu par le nombre de tubes, on aura le nombre de calories négatives que devra fournir la machine à froid et, par suite, la force de la machine.

Cette quantité Q ainsi déterminée a pour expression $C\Pi(\theta_1 - \theta_2)$, Π étant le poids (en kilogrammes) de la solution qui traverse le tube en une heure. On peut considérer ce poids comme déterminé. En effet, le rayon r_1 du tube extérieur est déterminé, celui du tube intérieur l'est également. M. Poetsch lui donne 0^m,025 de diamètre. La section ω de la couronne circulaire est donc déterminée ; la vitesse de circulation est circonscrite entre des limites assez restreintes ; elle ne peut pas dépasser 1 mètre ou 1^m,10 par seconde, qui est le maximum admis pour la vitesse des liquides dans les conduites ; elle ne peut pas d'ailleurs diminuer indéfiniment. La vitesse adoptée par M. Poetsch à Königs-Wusterhausen est 0^m,60 par minute (pour le liquide remontant dans l'espace annulaire entre les deux tubes). Le volume et par conséquent le poids du liquide par unité de temps, Π , est donc à peu près déterminé ; en prenant les données de Königs-Wusterhausen

$$C\Pi = 1110 \text{ calories.}$$

On aurait donc

$$(5) \quad \theta_1 - \theta_2 = 0,1 h.$$

La relation (3) nous donne déjà

$$\theta_2 = \frac{Q}{h} \frac{1}{2\omega K} l \frac{r_0}{r_1} = \frac{111}{2\omega K} l \frac{r_0}{r_1}.$$

En y joignant la relation (3) on déterminera θ_1 , d'où θ_0 (page 132), c'est-à-dire la température de marche normale de la machine *dans l'état permanent*, lorsqu'on aura déterminé r_0 .

IV. — VOLUME CONGELÉ. — CALORIES ENLEVÉES. — TEMPS EMPLOYÉ. — DÉPENSE.

Il s'agit maintenant de déterminer le temps nécessaire à l'opération. Pour cela il est nécessaire de calculer le volume de la partie congelée et le nombre de calories enlevées au terrain.

Je supposerai que l'on opère de la première manière que j'ai indiquée (page 134), c'est-à-dire que l'on constitue simplement un cuvelage protecteur en amenant les parties congelées à se souder : il est évident, en considérant les figures 11, 12, 13, Pl. III, qui représentent les coupes de la masse congelée autour d'une ligne de tubes, qu'on peut, au lieu de la considérer comme la réunion de plusieurs masses distinctes, ce qui serait assez compliqué, la regarder comme formant une masse unique cylindrique, à génératrices horizontales, ayant pour courbe méridienne la courbe (*fig. 13*) constituée par le profil extérieur de la partie congelée. Ce profil est défini par l'équation 2 (page 139). Et dès lors, si l'on appelle S cette surface $AA' BB'$ et p le périmètre du polygone des tubes, le volume cherché est égal à pS . Comme on peut d'ailleurs considérer aussi bien ces figures comme se rapportant à une surface isotherme quelconque (équation 1, page 139), ce qui précède s'applique également à une quelconque de ces surfaces.

Cela est exact pour les surfaces isothermes au-dessus de 0° ; au-dessous de 0° les surfaces isothermes ne sont pas toutes soudées forcément entre elles. On commet donc

une certaine erreur par excès en les calculant de la même manière.

Cela posé, nous avons à calculer S. L'aire élémentaire $mm'n'n$ a pour expression

$$d\sigma = 2r dy \quad \text{et} \quad S = 2 \int_0^h r dy.$$

On a d'ailleurs (§ III) :
pour le volume à 0°

$$(2) \quad \theta = \frac{Q}{2\pi K h} l \frac{r}{r_1},$$

ou

$$\theta_2 + \frac{\theta_1 - \theta_2}{h} y = \frac{Q}{2\pi K h} l \frac{r}{r_1};$$

D'ailleurs on a

$$(3) \quad \theta_2 = \frac{Q}{2\pi K h} l \frac{r_0}{r_1},$$

Donc

$$\frac{\theta_1 - \theta_2}{h} y = \frac{Q}{2\pi K h} l \frac{r}{r_0} \\ r = r_0 e^{\frac{2\pi K}{C\Pi} y}.$$

Je pose

$$\alpha = \frac{2\pi K}{C\Pi} \quad r = r_0 e^{\alpha y}$$

Donc

$$S_0 = 2r_0 \int_0^h e^{\alpha y} dy = \frac{2r_0}{\alpha} (e^{\alpha h} - 1),$$

$$S_0 = \frac{2r_0}{\alpha} (e^{\alpha h} - 1).$$

$$(7) \quad V_0 = \frac{2pr_0}{\alpha} (e^{\alpha h} - 1).$$

Pour avoir le volume d'une surface isotherme quelconque il suffit de prendre

$$u + \theta = \frac{Q}{2\pi K h} l \frac{r}{r_1}.$$

(u désigne la température avec son signe et θ représente la valeur absolue).

On arrive alors à

$$r_u = r_0 e^{\alpha y} e^{\alpha' u} \quad \text{où} \quad \alpha' = 2\pi K \frac{h}{Q};$$

$$S_u = S_0 e^{\alpha' u}.$$

$$V_u = V_0 e^{\alpha' u}.$$

Cette expression de V_u se rapporte à une surface isotherme au-dessous de 0° ($u < 0$). Pour les surfaces au-dessus de 0° ($u > 0$), il faut remplacer, dans α et α' , K , qui est la conductibilité du terrain congelé, par K_1 , coefficient de conductibilité du terrain non congelé. On a alors au lieu de α et α' :

$$\alpha_1 = \frac{2\pi K_1}{C\Pi},$$

et

$$\alpha'_1 = 2\pi K_1 \frac{h}{Q}.$$

Comme approximation j'admettrai $K = K_1$, mais il serait fort intéressant de déterminer la valeur de K , conductibilité du terrain congelé, qui peut être assez différente de K_1 .

Cela posé, les calories enlevées au terrain comprennent non seulement celles qui ont été soustraites à la partie congelée, mais encore celles qui ont été enlevées aux parties voisines du terrain de part et d'autre, amenées, pour que l'équilibre puisse s'établir, aux températures 1°, 2°, 3°..., ($t-1$)°, t ° étant la température moyenne du terrain environnant.

1° Toute la portion congelée dégage en se congelant la chaleur latente de fusion de l'eau qu'elle contient, soit 79 calories par kilogramme d'eau. Si m représente le nombre de kilogrammes d'eau contenus dans 1 mètre cube du terrain, ce mètre cube congelé dégage $m \times 79$ calories de chaleur latente;

2° 1 mètre cube de terrain en se refroidissant de 1° cède un nombre de calories représenté par μ (capacité calorifique de l'unité de volume). Si μ n'est pas donné,

on peut le calculer; 1 mètre cube du terrain contenant m kilogrammes d'eau et m' kilogrammes de roche dont la chaleur spécifique est χ , on a

$$\mu = m + m'\chi.$$

Toutefois, à partir du moment où le terrain s'est congelé, sa capacité calorifique n'est plus μ , mais

$$\mu' = 0,0505m + m'\chi.$$

La chaleur spécifique de l'eau passe, en effet, de 1 au-dessus de 0°, à 0,505 au-dessous entre 0° et -30° (Evertt, *Unités et Constantes physiques*, page 94; traduction Raynaud).

On a donc, V_0 étant le volume de la masse gelée, en mètres cubes :

a) Calories de chaleur latente :

$$m \times 79 \times V_0.$$

b) Calories de refroidissement :

Le volume V_{t-1} , étant refroidi tout entier de 1°, dégage μV_{t-1}
 V_{t-2} déjà refroidi de 1 degré n'en perd plus
 que 1 et dégage. μV_{t-2}

 V_1 μV_1
 V_0 μV_0
 V_{-1} $\mu' V_{-1}$

 V_{-0_1} $\mu' V_{-0_1}$

$$\begin{aligned} \sum \text{calories de refroidissement} &= \mu(V_{t-1} + V_{t-2} + \dots + V_1 + V_0) \\ &\quad + \mu'(V_{-1} + V_{-2} + \dots + V_{-0_1}) \\ &= V_0 \left\{ [e^{\alpha'(t-1)} + e^{\alpha'(t-2)} + \dots + e^{\alpha'} + 1] \mu \right\} \\ &\quad + (e^{-\alpha'} + e^{-2\alpha'} + \dots + e^{-\theta_1 \alpha'}) \mu' \end{aligned}$$

Je fais les sommes des progressions géométriques de raisons $e^{\alpha'}$ et $e^{-\alpha'}$ qui sont comprises entre parenthèses; j'arrive à :

$$\begin{aligned} \sum \text{calories de refroidissement} &= V_0 \left[\mu \frac{e^{\alpha' t} - 1}{e^{\alpha'} - 1} + \mu' \frac{e^{-\alpha'} - e^{(-\theta_1 - 1)\alpha'}}{1 - e^{-\alpha'}} \right] \\ &= V_0 \left[\mu \frac{e^{\alpha' t} - 1}{e^{\alpha'} - 1} + \mu' \frac{1 - e^{-\alpha' \theta_1}}{e^{\alpha'} - 1} \right] \\ &= V_0 \left[\frac{\mu e^{\alpha' t} - \mu' e^{-\alpha' \theta_1} + \mu' - \mu}{e^{\alpha'} - 1} \right] \end{aligned}$$

(d'ailleurs $\mu' - \mu = -0,50 m$)

$$= V_0 \frac{\mu e^{\alpha' t} - \mu' e^{-\alpha' \theta_1} - 0,50 m}{e^{\alpha'} - 1}.$$

Réunissant les deux sommes a et b :

$$\begin{aligned} (8) \quad \sum \text{calories totales} &= V_0 \left(79 m + \frac{\mu e^{\alpha' t} - \mu' e^{-\alpha' \theta_1} - 0,50 m}{e^{\alpha'} - 1} \right) \\ &= \frac{2p}{\alpha} (e^{\alpha h} - 1) \left(79 m + \frac{\mu e^{\alpha' t} - 0,50 m}{e^{\alpha'} - 1} \right) r_0 \\ &\quad - \frac{2p}{\alpha} (e^{\alpha h} - 1) \frac{\mu'}{e^{\alpha'} - 1} e^{-\alpha' \theta_1} r_0, \end{aligned}$$

Or

$$\begin{aligned} \theta_1 - \theta_2 &= \frac{Q}{CH}, \quad \theta_2 = \frac{Q}{2\pi Kh} l \frac{r_0}{r_1}, \quad \theta_1 = \frac{Q}{CH} + \frac{Q}{2\pi Kh} l \frac{r_0}{r_1}, \\ \alpha' \theta_1 &= \frac{2\pi Kh}{CH} + l \frac{r_0}{r_1}, \quad e^{-\alpha' \theta_1} = \frac{r_1}{r_0} e^{-\frac{2\pi Kh}{CH}} = \frac{r_1}{r_0} e^{-\alpha h}. \end{aligned}$$

Donc en posant :

$$\begin{aligned} A &= \frac{2p}{\alpha} (e^{\alpha h} - 1) \left(79 m + \frac{\mu e^{\alpha' t} - 0,50 m}{e^{\alpha'} - 1} \right), \\ B &= \frac{2p}{\alpha} (e^{\alpha h} - 1) \frac{\mu'}{e^{\alpha'} - 1} r_1 e^{-\alpha h}. \\ \sum \text{calories totales} &= A r_0 - B. \end{aligned}$$

Dépenses du fonçage. — Ces dépenses se répartissent en :

- D_1 , dépenses d'installation des tubes;
- D_2 , dépenses de congélation avant le fonçage;
- D_3 , dépenses de congélation pendant le fonçage;

- D_4 , Dépenses diverses comprenant l'intérêt et l'amortissement du matériel, les frais de déplacement des appareils, de montage, de surveillance, etc. ;
 D_5 , frais de fonçage et de cuvelage.

Parmi toutes ces dépenses, les seules sur lesquelles la distance $2r_0$ (*) des tubes ait une influence directe sont les trois premières. Les autres (sauf indirectement le fonçage qui peut aller plus vite si on laisse au terrain son inconsistance) sont à peu de chose près indépendantes de r_0 :

1° Installation des tubes. Soit f le prix du mètre courant (non compris le prix des tubes eux-mêmes qui peuvent être retirés), n le nombre de ces tubes. On a

$$\frac{p}{2r_0} = n,$$

et

$$D_1 = nhf = \frac{phf}{2} \frac{1}{r_0}.$$

2° Congélation avant fonçage. Soit N le nombre de calories négatives que peut fournir la machine à froid en 24 heures, et Δ le prix d'une journée de 24 heures de la machine, tout compté, salaires, combustibles, etc. On aura :

$$D_2 = \frac{\Sigma}{N} \Delta = \frac{A\Delta}{N} r_0 - \frac{B\Delta}{N}.$$

3° Congélation durant le fonçage. Soit M l'avancement par jour en mètres. On a :

$$D_3 = \frac{h}{M} \Delta.$$

Donc, dépense totale :

$$(8) D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 = \frac{phf}{2} \frac{1}{r_0} + \frac{A\Delta}{N} r_0 - \frac{B\Delta}{N} + \frac{h}{M} \Delta + D_4 + D_5.$$

(*) Il suffit en effet d'obtenir le contact des zones congelées à la surface, puisqu'on sera sûr (page 133) qu'il existera par là même sur toute la hauteur, et par conséquent de mettre les tubes à la distance $2r_0$ l'un de l'autre.

On réalisera le minimum de dépense si on détermine r_0 par la condition :

$$\frac{dD}{dr_0} = 0,$$

ou

$$-\frac{phf}{2} \frac{1}{r_0^2} + \frac{A\Delta}{N} = 0.$$

$$(9) \quad r_0 = \sqrt{\frac{phfN}{2A\Delta}}.$$

$\frac{d^2D}{dr_0^2}$ étant positive, cette valeur de r_0 correspond bien au minimum de D .

La valeur correspondante de D est

$$D_{\min.} = \sqrt{\frac{2phfN\Delta}{N}} - \frac{B\Delta}{N} + \frac{h}{M} \Delta + D_4 + D_5.$$

La valeur de r_0 ainsi déterminée correspondra bien au minimum de D , mais il est possible qu'elle conduise, suivant les cas, à des durées trop longues de congélation ou à des températures du liquide trop basses, données par la formule (3), dans laquelle le coefficient K n'est, il est vrai, jusqu'ici, pas déterminé. Dans ce cas, on rapprochera les tubes davantage en augmentant la dépense.

Il est d'ailleurs facile de vérifier que, dans l'expression (9), le radical du second membre est bien homogène à une longueur.

Il est à remarquer que A est de la forme $A'p$; r_0 sera donc indépendant de p , comme il était naturel d'ailleurs. La distance à adopter pour les tubes est fonction uniquement de la nature du terrain, qui porte sur les quantités f et A' (par les termes en α , m , μ , μ'), de la profondeur du puits ou plutôt du niveau h , qui porte sur h et A , et du rapport $\frac{\Delta}{N}$ du prix de marche de la machine au nombre de calories négatives qu'elle fournit. Ce rapport dépend du type de machine employé et n'est pas

forcément constant pour un type déterminé. Toutefois, on peut admettre une certaine loi caractérisant la machine.

M. Tellier donne (*Applications de la thermodynamique à la production de la force motrice et du froid*) le chiffre de 20 p. 100, comme exprimant le rendement des machines à affinité, c'est-à-dire le rapport du nombre de calories négatives fournies, au nombre de calories utilisables dans la combustion du charbon. Pratiquement, pour 1 kilogramme de charbon donnant 5.450 calories *utilisables*, on obtient 1.200 calories négatives.

La longueur r_0 est donc une constante spécifique du terrain, et après qu'on l'aura déterminée, on pourra tracer le polygone des tubes, non plus à distance arbitraire du polygone de section du puits, comme le fait M. Poetsch, mais à cette distance r_0 ou un peu plus, de manière que la zone congelée arrive tangente aux parois du puits, sans empiéter sur lui, afin de conserver, le plus possible, l'avantage de l'inconsistance du terrain. Il faut, toutefois, reconnaître que la portion du terrain où se trouve le puits n'échappera pas complètement à la congélation, attendu qu'elle constitue un réservoir de chaleur limité soumis à un refroidissement très intense de la part des sources froides à température constante qui l'entourent. Cela vaudrait cependant mieux que de le congeler tout entier. Le nombre des tubes sera alors, en désignant par p le périmètre de ce polygone ($p = p' + 8r_0$, p' étant le périmètre du puits supposé rectangulaire, ou bien $p = p' + 2\pi r_0$, si le puits est circulaire), $n = \frac{p}{2r_0}$. On aura d'ailleurs, en marche normale, à exiger de la machine à froid un nombre de calories représenté par nQ (Q étant donné par l'expression (4), page 142); ce qui achève de déterminer la force de la machine.

On voit en outre que, toutes choses égales d'ailleurs, la distance $2r_0$ des tubes varie en sens inverse de la hauteur h , puisque le facteur A' qui entre en dénominateur contient le terme $e^{\alpha h} - 1$ qui est de la forme :

$$\alpha h + \frac{\alpha^2 h^2}{2} + \frac{\alpha^3 h^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots$$

J'ajouterai que, pour ce qui concerne le rapport $\frac{N}{\Delta}$, M. Froberg, directeur de la mine Archibald, à Schneidlingen, a bien voulu me donner comme éléments de Δ pour une machine fournissant 500 kilogrammes à l'heure, soit 1.200.000 calories négatives par 24 heures :

Salaires des ouvriers.	12 marks
Vapeur.	22 —
Perte en ammoniacque.	3 —
Δ	37 marks

Soit 46 francs : $\frac{N}{\Delta} = \frac{12 \times 10^5}{46} = \text{environ } \frac{10^5}{4}$.

Il serait intéressant de former un tableau des valeurs de r_0 pour différents terrains et diverses profondeurs; malheureusement il entre dans l'expression de A' des termes $79m$, μ , μ' , où m représente le poids de l'eau en kilogrammes par mètre cube du terrain, qui dépendent des circonstances locales et ne peuvent être déterminés *a priori*.

f variera aussi beaucoup et dépendra des circonstances locales; M. Lippmann (ancienne maison Degousée et Laurent) m'a donné comme valeur de f pour un trou de 0^m,20, et jusqu'à 100 mètres dans un terrain facile, comme la craie, un chiffre oscillant entre 30 et 40 francs.

Pour d'autres cas, il serait bien difficile de faire des hypothèses justifiables.

Il y a une condition essentielle à laquelle il faut avant

tout satisfaisant, et que je n'ai pas encore exprimée jusqu'ici, qui est que la masse congelée soit assez épaisse pour qu'à toute profondeur elle puisse résister à la pression du terrain libre environnant sur une hauteur suffisante pour permettre de travailler commodément au fonçage et d'installer le revêtement du puits. Il est extrêmement difficile d'évaluer même approximativement la pression que peut exercer sur les parois du cuvelage de glace le terrain qui l'entoure. Le terrain étant entièrement imprégné d'eau, on peut compter déjà sur la pression hydrostatique de l'eau à laquelle il faut probablement ajouter quelque chose en raison de la présence du sable. On sera sans doute au-dessus de la réalité en évaluant la pression comme celle d'un liquide ayant pour densité 2 (*), en sorte qu'à une profondeur y en mètres la pression sera en kilogrammes par centimètre carré $\frac{y}{5}$. Si la

hauteur des retraites n'est pas très grande (1^m à 2^m), on pourra calculer la pression comme uniformément égale à celle du niveau moyen de la retraite.

On a d'ailleurs, pour calculer l'épaisseur E à donner à un cuvelage cylindrique de rayon intérieur R , soumis à une pression extérieure P' , la résistance de la matière à l'écrasement étant de K' kilogrammes par centimètre carré, la formule suivante, d'après M. Dwelshauvers-Dery

(*) Je ne me dissimule pas qu'un pareil raisonnement n'est pas très plausible. Je ferai remarquer seulement qu'on a proposé une explication du même genre pour rendre compte de l'ascension de l'eau remontant dans le procédé Triger dans le tube central. Les bulles d'air incorporées dans la colonne d'eau ont été regardées comme changeant le régime hydrostatique des pressions à l'intérieur, diminuant la pression au bas, et expliquant l'ascension d'une colonne d'eau correspondant à une pression supérieure à celle de la chambre de travail. C'est l'inverse qui se présente ici.

(Principes de la résistance des matériaux, p. 117).

$$E = R \left(\sqrt{\frac{K'}{K' - 2P'}} - 1 \right).$$

En réalité on ne peut pas compter sur une grande certitude. Les formules s'appliquent en effet à des corps bien définis, homogènes, et constitués par des fibres continues, ce qui n'est pas le cas ici.

L'épaisseur à donner est donc, en fonction de la profondeur :

$$E = R \left(\sqrt{\frac{K'}{K' - \frac{2y}{5}}} - 1 \right).$$

Nous avons d'ailleurs trouvé (3^e partie) les équations

$$(2) \quad \frac{2\pi K h}{Q} \theta = l \frac{r}{r_1},$$

$$(3) \quad \frac{2\pi K h}{Q} \theta_2 = l \frac{r_0}{r_1},$$

d'où

$$\frac{2\pi K h}{Q} (\theta - \theta_2) = l \frac{r}{r_0} \quad \text{ou} \quad \frac{2\pi K h}{Q} \frac{\theta_1 - \theta_2}{h} y = l \frac{r}{r_0},$$

d'ailleurs (équation 5)

$$\theta_1 - \theta_2 = 0,1 h,$$

dont

$$\frac{2\pi K \times 0,1 h}{Q} y = l \frac{r}{r_0},$$

et, en posant $\delta = \frac{2\pi K \times 0,1 h}{Q}$

$$r = r_0 e^{\delta y}, \quad E' = 2r = 2r_0 e^{\delta y}.$$

En construisant les deux courbes de E et de E' on s'assurera que celle de E' est au-dessus de celle de E , sinon il faudra augmenter convenablement r_0 .

Il serait nécessaire pour cela de savoir quelle valeur attribuer au coefficient K' de résistance à l'écrasement de la masse congelée. Les expériences manquent encore sur ce sujet. M. Weitz (*loc. cit.*, p. 23) admet 200 kilogrammes par centimètre carré, chiffre assez considérable. En faisant le calcul de E avec $K' = 20$ kilogrammes par centimètre carré (résistance à l'écrasement de la craie, d'après Rankine, *Manuel de mécanique appliquée*) j'ai trouvé pour $y = 30$ mètres

$$E = 0,60R,$$

pour $R = 2$ mètres

$$E = 1^m,20.$$

Pour un puits rectangulaire il suffira de considérer la partie libre comme une poutre encastrée à ses extrémités. Avec les mêmes notations, l étant la longueur du côté du puits, on devra avoir d'après M. Dwelshauvers-Dery (pages 48-49)

$$\frac{I}{u'} = \frac{M}{K'},$$

dans cette expression I est le moment d'inertie de la section encastrée par rapport à son axe neutre, u' la distance à l'axe neutre de la fibre la plus éloignée, M le moment du couple fléchissant, d'ailleurs

$$\frac{I}{u'} = \frac{2E^3}{24} \quad \text{et} \quad M = \frac{P'l^2}{12} \quad (\text{p. 78}),$$

d'où

$$E^3 = \frac{P'l^2}{K'}, \quad E = \sqrt[3]{\frac{P'l^2}{K'}}$$

en faisant le calcul pour $P' = 6$ ($y = 30$ comme plus haut), $l = 4$,

$$E = \sqrt[3]{\frac{6 \times 16}{20}} = \sqrt[3]{\frac{24}{5}} = 1^m,68.$$

J'ajouterai enfin que tout ce qui précède suppose que

les eaux se trouvent dans le terrain à l'état statique. S'il arrivait qu'elles eussent un mouvement de circulation amenant à chaque instant au contact des tubes des eaux nouvelles, l'action refroidissante de ceux-ci serait beaucoup plus faible et la congélation beaucoup plus lente. Il pourrait même se faire dans certains cas qu'elle fût impossible. Cela n'arrivera pas généralement, mais il sera assez fréquent que les eaux aient dans le sol un écoulement régulier suivant la pente naturelle des couches. Il en résultera un retard dans la formation de la masse gelée, qui pourrait, à l'occasion, être dangereux, et qu'il sera fort difficile de prévoir, les eaux n'ayant de mouvement sensible que dans la profondeur.

V. — FONÇAGE.

Le puits étant maintenant protégé contre les eaux du dehors, on procédera au fonçage à la manière ordinaire, sans avoir à se préoccuper des eaux, ou bien en enlevant le peu d'eau qui se trouve dans le puits, non congelé; on opère absolument comme dans un terrain consistant.

Si on a un terrain coulant et qu'on ait eu soin de ne pas congeler l'intérieur même du puits projeté, le fonçage ira très vite, l'enlèvement du terrain étant très facile et l'inconvénient de l'inconsistance du terrain étant supprimé, puisque la masse congelée arrive tangentiellement aux parois.

Si on a un terrain consistant ou si on a congelé l'intérieur du puits, comme je l'ai vu à Königs-Wusterhausen, il faudra travailler au pic. M. Poetsch ne se servait pas de la mine, dans la crainte que l'ébranlement qui en résulterait ne vint à disloquer la masse congelée et à produire une irruption subite des eaux dans le puits. Il avait essayé, au début du fonçage à Königs-

Wusterhausen, d'envoyer au fond du puits un jet de vapeur d'eau qui avait pour objet de dégeler la masse et d'en faciliter l'attaque. Cette pratique devait être sans doute trop coûteuse, car on y avait complètement renoncé lors de ma visite.

On n'a pas de raison d'exécuter le fonçage en entier sur toute la hauteur du puits avant d'établir le cuvelage. Il y aurait à craindre d'ailleurs que la barrière protectrice ne pût supporter l'effort des eaux. Aussi fait-on suivre le cuvelage immédiatement. Dans un terrain consistant, on peut compter que le terrain par lui-même résistera bien, la congélation ayant eu pour effet de boucher les fissures, et on pourra creuser sur la hauteur qu'on jugera le plus convenable avant d'établir le cuvelage; mais dans un terrain inconsistant, on est forcé de limiter la hauteur des retraites. M. Poetsch les faisait de 1 mètre à 1^m,50 à Königs-Wusterhausen.

Dans la séance du 5 avril 1884 de la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, à la suite d'une communication sur le procédé Poetsch, on a fait observer : 1° qu'il serait impossible de se servir de maçonnerie pour faire le revêtement du puits, en raison de la basse température du sol et des parois; 2° qu'un cuvelage en bois éclaterait à cette température par la congélation de l'eau contenue dans les pores; 3° qu'il était impossible de se servir d'un cuvelage en fonte qui serait soumis à des contractions et dilatations en rendant l'usage impossible. Il est cependant parfaitement possible d'employer un cuvelage en bois à la seule condition de n'y faire entrer que du bois parfaitement sec, et j'ai pu constater à Königs-Wusterhausen que, dans ces conditions, un cuvelage en bois résiste parfaitement. Pour murailles le puits, M. Poetsch, après avoir songé à faire le mortier avec de l'eau salée et du goudron, s'est servi, à Finsterwald, d'une méthode simple et qui a fort bien réussi, consistant

à revêtir d'abord le puits d'un cuvelage en bois et à construire ensuite à l'intérieur de celui-ci le muraillement en maçonnerie, après que le puits est complètement terminé. Il s'est arrêté actuellement à un procédé rappelant celui de la trousse coupante, la tour en maçonnerie étant construite avec du ciment à prise rapide. Ce procédé doit être expérimenté au deuxième puits actuellement en fonçage à Finsterwald. Pour l'emploi des cuvelages en fonte, on pourrait peut-être éviter l'influence fâcheuse des basses températures en interposant, entre le cuvelage et les parois, des corps mauvais conducteurs : bois, paille et charbon pulvérisé, etc.

Enfin, il ne faut pas considérer comme un obstacle au travail des ouvriers la basse température de l'air au chantier, car elle monte rapidement, aussitôt que les ouvriers y sont, en raison de la chaleur rayonnante qu'ils émettent, pour se tenir aux environs de -1° , température qui n'est pas excessive et peut même, en certains cas, en été par exemple, leur causer un réel soulagement.

Dans les autres parties du puits, la température de l'air est beaucoup plus basse et peut arriver jusqu'à -6° ou -8° (Weitz, *Abteufen*, etc., page 8). Aussi quand on descend dans un puits en fonçage par cette méthode, éprouve-t-on très distinctement une impression de froid beaucoup plus vive, à l'orifice et au milieu du puits, qu'au fond où se tiennent les ouvriers.

On pourrait faire à la méthode cette objection, que la congélation, qui réussit bien dans une couche déterminée, du sable, par exemple, quand elle est horizontale, ne réussit pas dans le cas de couches inclinées, parce qu'alors il faudra qu'elle passe d'une couche à l'autre et qu'il est possible que la différence des conductibilités soit telle que le passage soit difficile ou même ne se fasse pas. Il n'y a toutefois pas de raison pour qu'il ne s'établisse pas d'échange de chaleur entre deux couches

de nature différente, surtout quand elles sont toutes les deux humides; l'eau sert alors de véhicule. La preuve en est donnée, d'ailleurs, par ce fait que j'ai pu constater à Königs-Wusterhausen, que des couches de sable et de houille s'étaient congelées ensemble et formaient un tout assez homogène pour que la pioche détachât des fragments, composés des morceaux des deux couches, à casure conchoïde, sans qu'ils se fussent séparés suivant le plan de la stratification.

Les conductibilités du sable et de la houille sont cependant très différentes. M. Everett donne (p. 119) :

Sable blanc saturé d'eau, environ . . .	0,007
Houille ordinaire et houille grasse . . .	0,0057 à 0,00113

On peut transformer ces données (qui sont en unités: centimètre, gramme, seconde) en unités de Pécelet, dont les unités sont le mètre, la calorie (kilogramme — degré) et l'heure.

En multipliant les résultats précédents par 360, on a ainsi :

Sable saturé. 2,52 calories	} Par heure et mètre carré
Houille. 0,20 à 0,40		} épaisseur 1 mètre.

VI. — APPLICATIONS DÉJÀ RÉALISÉES.

La première application de la méthode a été faite à la mine *Archibald*, de la concession de Douglas, à Schneidlingen, sur un puits rectangulaire de 3^m,45 sur 4^m,73, déjà foncé de 34 mètres et ayant encore 5^m,50 de terrain bouillant et aquifère à traverser pour arriver à la couche de lignite qui faisait l'objet des recherches. On avait essayé de poursuivre le fonçage, et, pour se débarrasser des eaux, on avait percé un trou de sonde allant jusqu'à

une galerie inférieure. On avait ainsi un écoulement d'eau continu; mais on ne put pas aller plus loin que 1^m,30 au-dessous du niveau des eaux. M. Poetsch installa 23 tubes de 20 centimètres de diamètre, comme je l'ai décrit déjà, et on commença la congélation le 8 juillet 1883. Voici les observations des températures de l'air au fond du puits. Je me borne à donner celles qui se rapportent à une des parois. M. Weitz donne les températures des quatre, mais elles diffèrent fort peu :

Dates: juillet 1883. . .	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Températures de l'air. . .	+12	+6	—0	—1	—1,5	—1	—2	—1,5	—2	—2	—2	—3
Parois.	+11	+6,5	—2	—3	—3	—4	—5	—6	—6	—6,5	—8,5	—8
Dates: juillet 1883. . .	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Températures de l'air. . .	—2,5	—2,5	—4	—4	—5	—5	—5,5	—5,5	—5,5	—6	—6	—6
Parois.	—11	—12,5	—13	—14	—15	—15	—16	—16	—18	—18,5	—18,5	—19

Le charbon était atteint le 30 septembre. Il était gelé environ 1 mètre au-dessous des tuyaux (*Weitz, loc. cit.*). On a donc mis 60 jours pour enlever $13 \times 5 = 65$, soit environ 70 mètres cubes de terrain, ce qui fait un avancement de 0^m,10 par jour ou 1^m³,30.

Je dois à l'obligeance de M. Froberg les quelques données suivantes :

Force de la machine (500 kilogr. de glace à l'heure,
1.200.000 cal. par 24 heures).

Journée de marche de la machine. 37 marks
Tubes, 130 mètres. 460 —
Environ 4 marks par mètre courant de tubes.

Installation des tubes (1 contremaître, 2 maîtres-
ouvriers, 24 piqueurs). 4.019 marks

Fonçage (par mètre courant : 60 marks).

Pour tout le puits (40 mètres). 2.400 marks
Muraillement du puits (40 mètres). 3.500 —

On peut évaluer ainsi qu'il suit l'ensemble des dépenses pour tout le puits :

D ₁	Installation des tubes.	4.019	marks
D ₅	{ Fonçage.	2.400	—
	{ Muraillement.	3.500	—
D ₂ + D ₃	Congélation { 100 journ. de marche de la { machine à 37 marks.	3.700	—
		13.619	marks
	Soit	17.025	francs

En y ajoutant, comme nous le verrons plus loin pour Königs-Wusterhausen, une somme d'environ 42.000 francs représentant D₄, on a pour la dépense totale 59.025 francs, soit par mètre courant 1.475 francs, pour un puits de 16 mètres carrés de section et de 40 mètres de profondeur.

Les conditions d'application se trouvaient ici assez défavorables, en raison de l'écoulement d'eau continu qui se faisait par le trou de sonde percé au fond, et du fait que l'on avait déjà poussé le fonçage à 1 mètre au-dessous du niveau de l'eau.

La nécessité où l'on s'est trouvé de placer les tubes sur la section même du puits a créé aussi des difficultés au fonçage par la présence des tubes et par la dureté plus grande de la masse congelée.

Deuxième application à la *Max Grube*, à Michalkowitz (Haute-Silésie).

J'ai déjà indiqué, d'après M. Wabner (*Berg- und Hüttenmännische Zeitung* von Bruno Kerl und Wimmer. Jahrgang XLIII, n° 11), comment, par suite de la mauvaise qualité des tubes, ceux-ci s'étaient déformés sous la pression du terrain, avaient altéré l'étanchéité de la fermeture et comment, la solution répandue empêchant alors toute congélation (elle ne gèle qu'à — 40°), on avait été obligé de faire des réparations longues et coûteuses après lesquelles M. Poetsch, au bout de son délai, avait dû abandonner l'entreprise. La compagnie de la Max-Grube fonçait en même temps à peu de dis-

tance un second puits, où les difficultés furent moindres et qui put être poussé beaucoup plus bas que le premier en épuisant les eaux. Il en résultait un afflux des eaux du premier vers le second, et un certain soulagement du premier, sur lequel la compagnie comptait pour pouvoir continuer le fonçage par les méthodes ordinaires et vaincre les difficultés maintenant diminuées.

Troisième application près de *Finsterwald*, entre Berlin et Dresde.

On y a foncé successivement : 1° un premier puits circulaire ayant 2^m,34 de diamètre intérieur et un muraillement en briques de 0^m,34 d'épaisseur avec une profondeur de 42^m,65 : le muraillement a été effectué après boisage provisoire ; 2° un second puits actuellement en fonçage, pour lequel on doit faire suivre immédiatement le muraillement sous forme de trousse coupante sans boisage préalable.

Dans le n° 7 du tome VII du *Génie civil* (13 juin 1885), M. Keller, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur civil des mines, évalue ainsi qu'il suit les frais du premier fonçage de Finsterwald :

1° Matériel.		francs
Machine.		50.000
4.100 litres de dissolution ammoniacale		1.375
Chlorure de calcium (ou de magnésium).		1.500
390 mètres de tuyaux (extérieurs)		7.800
390 id. id. petits (intérieurs).		1.462
Tuyaux de distribution.		1.000
Branchements en plomb		480
26 robinets à 25 francs		650
4 robinets-vannes à 100 francs.		400
12 têtes de tuyaux à 50 francs		600
Boulons et ferronneries.		1.000
Matériel de sondage.		7.500
Imprévu.		1.232
		<hr/> 75.000

2° Montage et installation.

	francs
Fondations de la machine	1.000
Montage de la machine.	2.000
390 mètres de sondage à 40 francs.	15.600
Obturation des tuyaux	960
Montage des tuyaux, garniture.	1.500
Imprévu.	2.940
	24.000

3° Dépense de la machine par jour.

2 machinistes.	46,00
2 aides.	8,00
3 litres de dissolution ammoniacale.	3,75
Graissage, éclairage, etc.	3,00
Production de vapeur	20,00
Imprévu	4,25
	55,00

4° Ensemble des frais de fonçage.

Amortissement du matériel compté à 25 p. 100.	18.750
Déplacement des appareils.	5.000
Montage et installation.	24.000
Dépense de la machine (240 jours).	13.200
Fonçage et muraillement de 38 mètres à 250 francs le mètre se décomposant en 160 francs de fonçage proprement dit et 90 francs de muraillement à 40 francs le mètre cube.	9.500
Surveillance, voyages, etc.	9.550
	80.000

Soit 2.105 francs le mètre courant comme prix de revient pour une compagnie ayant son matériel et faisant l'entreprise des fonçages par cette méthode.

Durée totale du fonçage, 8 mois.

Quatrième application à *Königs-Wusterhausen*, près de Berlin, dans une mine de lignite appartenant à MM. Siemens.

Les *fig. 1 à 4*, Pl. III, donnent la coupe du terrain et l'in-

stallation générale. Les couches sont très peu inclinées.

Le terrain présente quelques blocs erratiques disséminés, de granite et de gneiss, et l'on pourrait craindre que leur présence ne fût un obstacle à l'installation des tubes. Mais, s'ils ne sont pas très nombreux, rien n'empêche, lorsqu'on les rencontre, de les éviter en écartant un peu le tube, qui ne doit pas nécessairement être rigoureusement vertical. S'ils étaient trop nombreux, il faudrait les briser au bonnet carré et les pousser de force dans la paroi.

J'ai déjà donné à peu près tous les renseignements que j'ai pu recueillir.

Le puits a 4 mètres sur 2 avant boisage. Il est entouré de 16 tuyaux à la distance de 1 mètre d'axe en axe à 0^m,50 en dehors du puits.

La congélation a duré 50 jours. Au bout de ce temps le terrain était congelé à 1^m,50 en dehors des tubes.

La pompe à chlorure de magnésium a 0^m,38 de course, 0^m,15 de diamètre et fait 24 tours à la minute (double effet). Elle envoie donc 321 litres par minute, soit 1^m³,20 par heure et par tube, pesant 1.404 kilogr. qui, avec la chaleur spécifique $C = 0,79$, donnent $C\Pi = 1.110$ calories.

Durée du séjour dans le réfrigérant, 59 minutes.

Volume de ce réfrigérant, 18 mètres cubes.

Il y a 21 mètres cubes de solution en circulation.

La dissolution d'ammoniaque est à 29° Beaumé, $D = 0,884$, teneur 36 p. 100.

La vapeur arrive à 145° (4 atmosphères).

Pression dans la chaudière à ammoniaque, 10 atmosphères.

Le combustible employé est du lignite de la mine même, de qualité très inférieure.

Terrain, par mètre cube :

455 kilogr. d'eau,
1.375 — de sable.

J'ai essayé de calculer, comme je l'ai indiqué, les valeurs applicables à Königs-Wusterhausen.

J'ai trouvé ainsi :

$$\begin{aligned} A' &= 456 \times 10^4, \\ B &= 10^6. \end{aligned}$$

Le calcul proposé page 149 donne alors, en supposant $f = 30$ francs, prenant $h = 30$ mètres, $N = 120 \times 10^4$, machine de 500 kilogr., $\Delta = 50$ francs,

$$r_0 = \sqrt{\frac{30 \times 30 \times 120 \times 10^4}{2 \times 456 \times 10^4 \times 50}} = \sqrt{\frac{5.400}{2.280}} = \sqrt{2,37} = 1^m,55 \text{ environ.}$$

On a d'ailleurs, pour l'application telle qu'elle a été faite et en admettant un rayon congelé de 1 mètre à la surface,

$$\sum \text{calories} = A r_0 - B = 456 \times 16 \times 10^4 \times 1^m - 10^6 = 72 \times 10^6,$$

$p = 16$ mètres, dans l'installation de M. Poetsch,

$$N = 1,2 \times 10^6, \quad T = 60 \text{ jours.}$$

M. Weitz dit (2^e brochure, p. 14) que la congélation a duré du 14 avril au 7 juin, soit 55 jours.

On peut alors évaluer la dépense totale de la manière suivante ($n = 16$):

$$D = 16 \times 30 \times 30 + \frac{456 \times 16 \times 10^4 \times 50}{120 \times 10^4} \times 1 - \frac{10^6 \times 50}{120 \times 10^4} + \frac{30}{0,25} \times 50.$$

$$M = 0^m,25 \quad D = 14.400 + 3.000 - 40 + 6.000 = 23.360.$$

Soit 778 francs pour le mètre courant. Il reste les frais de fonçage :

Par jour, 8 ouvriers et 2 surveillants.	50 fr.
Pendant 120 jours	6.000
Par mètre.	200

Enfin, le cuvelage :

On employait par mètre $1^m,70$ de bois.	130 fr.
En tout, par mètre.	1.108

Ce chiffre est uniquement un chiffre d'évaluation. Il

faudrait ajouter les frais d'amortissement du matériel, de déplacement des appareils, etc., comme l'a fait M. Keller pour Finsterwald. On a ainsi :

Amortissement	18.750	
Déplacement des appareils	5.000	
Montage et installation	9.000	} Le sondage est déjà compté.
Surveillance, voyages, etc.	9.250	
		42.000

Soit, par mètre, 1.400 francs.

Le prix de revient total du mètre courant sera donc 2.500 francs.

Durée totale du travail, 6 mois :

Avant fonçage.	2 mois
Fonçage proprement dit.	4 —

On voit quelle part énorme est prise par le fonçage lui-même dans un terrain si peu consistant, et par l'installation des tubes. Si au lieu de mettre les tubes à $0^m,50$ on les avait mis à $1^m,50$, de manière à laisser le centre du puits inconsistant, on aurait eu l'avantage d'avoir un avancement beaucoup plus rapide et de réduire notablement les frais de sondage. Je crois qu'on peut admettre dans un pareil terrain un avancement de 1 mètre par jour, représentant 8 mètres cubes à enlever par 8 ouvriers.

Le polygone p est alors de 24 mètres au lieu de 16, et on a

$$V_0 = 2.700^m,$$

au lieu de 1.800 que donne le calcul pour le cas précédent ou de 2.000, d'après l'estimation, peut-être trop forte, de M. Poetsch.

Dans ce dernier cas :

$$\begin{aligned} \sum \text{calories} &= 456 \times 10^4 \times 24 \times 1,5 - 10^6 \\ &= 181 \times 10^6 - 10^6 = 180 \times 10^6. \\ T &= \frac{180}{1,2} = 150 \text{ jours} \end{aligned}$$

avec une machine du type de 500 kilogr. Si on voulait aller plus vite, il faudrait prendre, par exemple, une machine de 1.000 kilogr. qui ne mettrait que 75 jours. Il se pourrait cependant que le rapport $\frac{N}{\Delta}$ subit une altération et que r_0 ne fût plus le même.

$$D_1 + D_2 + D_3 = \frac{24 \times 30 \times 30}{3} + \frac{456 \times 10^4 \times 24 \times 50 \times 1,5 - 10^6 \times 50}{120 \times 10^4} + \frac{30}{1} \times 50,$$

en admettant un avancement de 1 mètre par jour.

$$D_1 + D_2 + D_3 = 7.200 + 7.500 + 1.500 = 16.200. \\ \text{Par mètre courant 540 fr.}$$

Le fonçage ne durant plus que 30 jours, on n'a plus alors de ce chef que

$$30 \times 50 = 1.500^f. \text{ Par mètre courant 50 francs.}$$

Les autres frais restant les mêmes, nous avons par mètre courant

$$540 + 50 + 130 + 1400 = 2.120 \text{ francs.}$$

La différence avec le premier cas est considérable et montre bien l'avantage qu'il y aurait dans chaque cas particulier à faire les déterminations que j'ai indiquées.

Durée totale du travail dans ces conditions :

Congélation avant fonçage.	5 mois
Fonçage proprement dit.	1 —

Soit en tout 6 mois.

Il est bon de rapprocher de ces chiffres les prix suivants du mètre courant par diverses méthodes :

LOCALITÉS.	PROCÉDÉ.	MÈTRE courant.	PROFON-DEUR totale.	NATURE du terrain.	DURÉE en mois.
Havré	Triger.	francs 73.684	mètres 38	Sables coulants, craie aquifère.	48
La Louvière	Id.	8.138	13	Sables mouvants.	2
Saint-Waast	Chaudron.	3.400	98	Marnes crayeuses et sables.	29
Lescarpelle	Id.	1.731	101	Sables et craie.	11
Sainte-Barbe	Id.	2.732	55	Argiles, marnes, sables bouillants.	18
Sainte-Marie	Id.	1.036	105	»	13
Rothausen	Id.	3.199	103	Marnes blanches.	25

M. Haton de la Goupillière, membre de l'Institut, *Traité d'exploitation*, tome I, pages 361 et 372.

Il faut remarquer enfin que, dans les prix de 2.000 à 2.500 francs que nous avons évalués, l'intérêt et l'amortissement des appareils ainsi que leur installation entrent pour une part considérable (1.400 fr.), qui se trouverait notablement réduite si on agissait sur des hauteurs plus importantes, de 100 mètres par exemple, comme à Lescarpelle et à Sainte-Marie (tableau précédent).

VII. — APPLICATIONS POSSIBLES DE LA MÉTHODE.

Il serait bien difficile de prévoir d'une manière certaine les applications qui pourront être faites de la méthode si ingénieuse et si originale de M. Poetsch ; toutefois il est permis de dire, qu'en dehors de son application spéciale au fonçage des puits, elle pourra probablement être d'un emploi commode dans certaines opérations, telles, par exemple, que l'établissement des piles de pont. Il est certain que cette opération pourrait être beaucoup facilitée par l'emploi de la méthode ; il suffirait d'établir un batardeau à la manière ordinaire, d'installer les tubes, et de

produire la barrière protectrice sans toutefois congeler le centre; puis, creuser jusqu'au sol ferme, élever enfin la maçonnerie qui doit constituer la pile et laisser le dégel s'opérer. Toutefois il y aura peut-être des difficultés quant à l'obtention artificielle d'une température supérieure à 0° qu'exige la maçonnerie, et aussi, après le dégel, en raison du mouvement qui s'opérera dans le terrain sous-jacent, d'abord gelé, puis revenant à son état primitif. M. Contag (*Regierungs-Bau-meister*) propose (*Wochenblatt für Architekten und Ingenieure*, n° 55, juillet 1884) d'installer alors des pilotis traversant le terrain gelé pour arriver au terrain naturel, et de leur fixer une plaque métallique sur laquelle on élèverait la pile. Ce moyen paraît assez insuffisant et ensuite il aurait l'inconvénient de donner à la méthode toute la complication et l'élévation de prix des autres déjà employées. Il annonce cependant que M. Poetsch va entreprendre la fondation de douze piles d'un pont de chemin de fer projeté sur la Sereth (Roumanie), et qu'en cas de réussite, il appliquera sa méthode à de nouveaux ponts qui vont être construits sur le Danube. Le même auteur ajoute que, à Philadelphie, trois ponts sur le Schuylkill River et un à New-York doivent être fondés d'après la méthode Poetsch. Les résultats de ces expériences, dont il n'indique pas la date, ne peuvent manquer d'être très intéressants.

En dehors des piles de ponts, la méthode Poetsch peut trouver son application dans beaucoup de travaux de rivières qui nécessitent un travail dans un sol immergé et dans lesquels le travail à air comprimé, outre ses inconvénients, serait trop dispendieux.

Comme d'ailleurs rien n'exige que les tubes où circule le liquide froid soient verticaux, on pourra leur faire prendre toutes les inclinaisons que l'on voudra et arriver même à appliquer la méthode aux percements

de galeries en terrains aquifères, ou de tunnels exécutés par exemple, dans les conditions des tunnels sous la Tamise. Toutefois, pour les galeries de mines, il est très probable que la méthode ne serait pas d'une application bien facile, et d'ailleurs ce cas se présente assez rarement; il a donné naissance cependant à la méthode de picotage lors de l'exécution d'une galerie sous la Meuse, dans la mine de Dos (M. Haton de la Goupillière, *Traité d'exploitation*, tome I).

En résumé, la nouvelle méthode se présente comme permettant de réaliser facilement, vite et économiquement des fonçages considérés jusqu'ici comme très difficiles et très onéreux, ainsi que le montrent les chiffres cités page 166.

Elle paraît avoir son application surtout pour les terrains inconsistants, mais rien ne l'empêche de s'étendre aux terrains consistants fissurés. Il est possible toutefois que la difficulté et les prix plus grands des forages, ainsi que la hauteur, soient tels que la méthode n'offre pas d'avantages bien réels sur le procédé Kind et Chaudron. Comme les dépenses qu'elle occasionne peuvent être calculées assez exactement, il sera facile de s'en rendre compte.

Rien ne limite *à priori* la profondeur à laquelle on peut appliquer la méthode, puisqu'on peut toujours faire un fonçage ordinaire jusqu'au niveau aquifère et seulement alors installer les tubes pour la traversée du niveau. Mais il arrivera probablement qu'à partir d'une certaine hauteur les pompes et la tuyauterie nécessaires arriveront à faire perdre à la méthode ses avantages.

Il ne paraît donc pas que la méthode Poetsch doive remplacer la méthode Kind et Chaudron pour les cas des niveaux à grande profondeur et pour les terrains résistants, mais il est fort possible qu'elle lui enlève les fon-

gages en terrains inconsistants, aquifères et à profondeur faible.

Au reste, il ne m'appartient pas de conclure dans une question aussi neuve que celle-ci, et je ne puis mieux faire que de rapporter l'opinion si autorisée de M. Haton de la Goupillière (*Traité d'exploitation*, tome II, page 350) : « Sans doute, on entrevoit difficilement son extension à des hauteurs considérables et sous des pressions importantes. Cependant, même limitée à ces termes, elle mérite au plus haut point de fixer l'attention. L'inventeur attend de ce procédé une grande certitude dans les résultats en ramenant les conditions les plus compliquées des terrains aquifères, au cas simple d'une masse solide de dureté moyenne, et en évitant les soutènements immédiats ainsi que les dépenses et les dangers qu'entraîne la lutte contre les eaux par la voie de l'épuisement. »

LÉGENDE EXPLICATIVE DE LA PLANCHE III.

Fig. 1 et 2. — Disposition de l'appareil de congélation à Königs-Wusterhausen; élévation et plan.

- I. Chaudière à ammoniacque, cylindre horizontal.
- II. Chaudière à ammoniacque, cylindre vertical.
- III. Condenseur où se fait la liquéfaction du gaz ammoniac.
- IV. Cylindre où se rassemble le gaz liquéfié.
- V, VI. Réfrigérant à deux compartiments, muni d'un agitateur à palettes.
- VII. Refroidisseur.
- VIII. Vase d'absorption.
- IX. Réchauffeur ou échangeur.
- X. Petite machine à vapeur de 1,5 à 2 chevaux-vapeur.
- XI. Pompe pour la solution ammoniacale.
- XII. Pompe pour la solution saline.
- XIII. Pompe à eau froide pour l'alimentation du condenseur et du vase d'absorption.
- XIV. Transmission.

- abc* gaz ammoniac allant au condenseur.
der' ammoniacque liquide allant au réfrigérant.
r' à *f* serpentins du réfrigérant.
gh gaz ammoniac allant au vase d'absorption.
klmn solution ammoniacale pauvre allant de la chaudière au vase d'absorption.
opqstu solution ammoniacale riche allant du vase d'absorption à la chaudière par la pompe à ammoniacque XI.
 ABCD solution saline allant au puits en traversant la pompe XII.
 EF solution saline revenant du puits au réfrigérant.

Fig. 3 et 4. — Installation des tubes dans le puits; plan et coupe.

- tttt* tubes.
abcd tuyau de distribution.
a'b'c'd' tuyau collecteur.

Fig. 5. — Pièce de tête (*Kopfstück*).

Fig. 6. — Pièce de bout (*Fussende*).

Fig. 7 à 9. — Installation des tubes dans les différents cas.

Fig. 10. — Sections des zones congelées autour de deux tubes voisins, à différentes époques, montrant leur progression.

Fig. 11. — Section, à la surface, de la zone congelée autour d'une ligne de tubes, au moment où se fait le contact.

Fig. 12. — Section de la même zone, au même moment, par un plan horizontal inférieur.

Fig. 13. — Section de la même zone par un plan normal à la ligne des tubes.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages
Généralités sur le fonçage en terrain aquifère.	111
Principe de la méthode.	113
Circulation du réfrigérant.	115
Installation des tubes.	120
Marche de la congélation.	125
Volume congelé. — Calories enlevées. — Temps employé. — Dépense.	143
Fonçage.	155
Applications déjà réalisées.	158
Applications possibles de la méthode.	167

MÉTHODE
POUR DÉTERMINER LES DIMENSIONS QU'IL CONVIENT DE DONNER

AUX SECTIONS SUCCESSIVES

DES CONDUITES D'AIR OU DE GAZ

DANS LESQUELLES

LA TEMPÉRATURE PASSE PAR DES VALEURS DIFFÉRENTES

Par M. DE LANGLADE, ancien élève de l'École polytechnique
et de l'École nationale des mines.

Le chauffage de l'air destiné à alimenter les hauts fourneaux, l'emploi de plus en plus général des combustibles gazeux, le chauffage de l'air et des gaz avant leur combustion, l'emploi des flammes perdues, etc., obligent fréquemment les métallurgistes à déterminer les sections successives que doivent avoir les conduites d'air ou de gaz dans lesquelles la température passe par différentes valeurs.

Pour les hauts fourneaux, par exemple, on lance dans les conduites de vent de l'air comprimé par les machines soufflantes; cet air est d'abord, par l'effet de la compression, porté à une température un peu supérieure à celle de l'air extérieur, puis il traverse les appareils à air chaud et les quitte à une température élevée; il est ensuite amené aux buses, et lorsqu'il y arrive, sa température est plus ou moins abaissée suivant les conditions dans lesquelles se trouvent les conduites.

Pour les fours à gaz, le combustible gazeux quitte le

haut fourneau ou le gazogène à une température souvent assez élevée, il se refroidit jusqu'au moment où il atteint les fours, et là il est fortement chauffé avant la combustion.

A la suite des fours ordinaires, les produits de la combustion qui chauffent les chaudières ou qui parcourent simplement de longs carneaux passent dans leur trajet par différentes températures.

La formule de d'Aubuisson, qui établit une relation entre la perte de pression dans la conduite, la vitesse du gaz, sa densité, la longueur de la conduite, la surface et le périmètre de sa section, permet de déterminer des dimensions convenables, mais elle oblige à faire de longs calculs lorsque la température du gaz varie pendant son trajet, parce que, dans ce cas, il faut diviser la conduite en autant de portions qu'il y a de températures différentes, et appliquer la formule à chacune de ces portions.

Je suis arrivé à simplifier cette détermination en transformant la formule de d'Aubuisson de façon à ramener le problème à déterminer la section que devrait avoir la conduite si le gaz ou l'air étaient à la température de 0° dans tout le parcours. On obtient ensuite la valeur des différentes sections qui conviennent pour les différentes températures en multipliant leurs dimensions primitives par un coefficient, déterminé une fois pour toutes pour chaque température. Cette méthode n'a aucune prétention scientifique, mais quelques personnes ont pensé qu'elle pourrait rendre service aux praticiens en leur épargnant de longs tâtonnements.

Je suppose d'abord que la conduite est destinée au passage d'un gaz qui est à la température de 0° dans tout son parcours, et je détermine en conséquence la section de la conduite en me servant de la formule de d'Aubuisson ou de tout autre moyen. J'appellerai cette section *section primitive*. Il s'agit ensuite de l'augmenter ou de

la diminuer dans les différentes portions de la conduite suivant la température du gaz dans chaque portion, d'après une loi telle que le gaz se trouve dans les mêmes conditions après cette transformation et avec sa température vraie, que s'il était à 0° dans la conduite qui aurait la *section primitive*.

Quelle est la loi suivant laquelle devra varier la section primitive pour que cette condition soit remplie? La formule de d'Aubuisson va permettre de la déterminer.

Considérons une portion de la conduite dans laquelle la température définitive t sera uniforme, et désignons par

- p la pression à l'origine de cette portion de conduite,
- p' la pression à l'extrémité,
- L la longueur de cette portion de conduite,
- S la surface de sa section de forme quelconque,
- P le périmètre de sa section,
- A une ligne qui varie proportionnellement à P ,
- δ la densité moyenne du gaz dans cette portion de conduite,
- u la vitesse moyenne du gaz dans cette portion de conduite,
- m un coefficient numérique constant.

La formule de d'Aubuisson pourra s'écrire ainsi :

$$p - p' = mL \frac{P}{S} \delta u^2.$$

Nous admettons que la section a été déterminée en supposant le gaz à la température de 0°; nous avons donc la relation

$$p - p' = mL \frac{P_0}{S_0} \delta_0 u_0^2.$$

Nous voulons que la section soit modifiée de telle sorte que le même gaz à la température t° éprouve la même perte de pression $p - p'$. Nous aurons donc la relation

$$mL \frac{P_0}{S_0} \delta_0 u_0^2 = mL \frac{P_t}{S_t} \delta_t u_t^2.$$

Remarquons qu'en faisant la section nouvelle semblable

à la section primitive, nous aurons

$$\frac{P_0}{S_0} = \frac{A_t}{A_0} \cdot \frac{P_t}{S_t}$$

En éliminant les rapports $\frac{P_0}{S_0}$ et $\frac{P_t}{S_t}$ de l'équation précédente au moyen de cette relation et en supprimant les quantités communes aux deux membres, la condition à remplir est donc exprimée par l'équation

$$(1) \quad \frac{\delta_0 u_0^2}{A_0} = \frac{\delta_t u_t^2}{A_t}.$$

Exprimons δ_t et u_t en fonction de δ_0 , u_0 , A_0 , A_t et t .

Remarquons d'abord que la pression est la même dans la conduite à section primitive et contenant le gaz à 0° que dans la conduite dont nous voulons déterminer la section contenant le même gaz à t° ; nous aurons donc entre les densités du gaz la relation

$$(2) \quad \delta_t = \frac{\delta_0}{1 + \alpha t}.$$

α étant le coefficient de dilatation de ce gaz.

D'autre part le poids du gaz qui passerait pendant le même temps dans la section primitive à 0° ou dans la section dilatée à t° est exactement le même. Appelons V_0 et V_t les volumes de gaz qui passent dans l'unité de temps au point où la vitesse est u_0 et u_t , nous aurons la relation

$$V_t = V_0(1 + \alpha t),$$

ou

$$S_t u_t = S_0 u_0(1 + \alpha t),$$

et comme

$$\frac{S_0}{S_t} = \frac{A_0^2}{A_t^2},$$

(3)

$$u_t = \frac{A_0^2}{A_t^2} u_0(1 + \alpha t).$$

Substituons à δ_t et u_t leurs valeurs (2) et (3) dans l'équa-

tion (1)

$$\frac{\delta_0 u_0^2}{A_0} = \frac{\delta_0}{1 + \alpha t} \times \frac{A_0^4}{A_t^4} u_0^2 (1 + \alpha t)^2 \times \frac{1}{A_t},$$

ou en simplifiant

$$A_t = A_0 \sqrt[5]{1 + \alpha t}.$$

Donc une conduite de section quelconque étant donnée, dans laquelle passe un gaz à 0°, si on veut porter ce gaz à la température de t° et ne rien changer à la perte de pression qu'éprouve le gaz par suite du frottement dans la conduite, il faut remplacer les sections de la première conduite donnée par des sections semblables dont les côtés soient aux côtés des premières dans le rapport de $\sqrt[5]{1 + \alpha t}$ à l'unité.

Par exemple, si la section de la conduite primitive est un cercle de diamètre D₀, le diamètre de la conduite à section circulaire qui donnera la même perte de pression avec le même gaz à t° sera

$$D_t = D_0 \sqrt[5]{1 + \alpha t}.$$

On peut admettre dans la pratique que tous les gaz qui parcourent les conduites des appareils métallurgiques ont le même coefficient de dilatation et faire une fois pour toutes un tableau des différentes valeurs de $\sqrt[5]{1 + \alpha t}$ qui serviront pour tous les cas.

Voici quelques-unes de ces valeurs

pour t = 0°, $\sqrt[5]{1 + \alpha t} = 1$		pour t = 400°, $\sqrt[5]{1 + \alpha t} = 1,1980$	
— 50°	— 1,03417	— 450	— 1,2153
— 100	— 1,06452	— 500	— 1,2308
— 150	— 1,0917	— 600	— 1,2621
— 200	— 1,1163	— 700	— 1,2896
— 250	— 1,1390	— 800	— 1,3152
— 300	— 1,1601	— 900	— 1,3389
— 350	— 1,1796	— 1000	— 1,361

Bordeaux, le 8 mars 1883.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. JUTIER

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES

Par M. TOURNAIRE, inspecteur général des mines.

Parmi les pertes répétées qui ont depuis un an frappé le Corps des mines, celle de l'inspecteur général Jutier, survenue au mois d'avril dernier, a particulièrement et à bien juste titre provoqué les regrets.

Jutier se distinguait par l'étendue et la variété du savoir, qu'il devait à la curiosité sans cesse ouverte de son esprit et à la sûreté de sa mémoire, en même temps par la grande expérience pratique et professionnelle qu'il avait acquise dans l'exercice de ses fonctions, en étudiant toujours avec soin et sagacité les questions soumises à son examen. Sa parole facile et originale, nourrie par la science et l'imagination, guidée d'ailleurs par des conceptions justes et une intelligence droite, donnait dans les relations ordinaires beaucoup de charme et d'intérêt à sa conversation, dans les discussions techniques du relief et de l'autorité aux avis qu'il exprimait. Aussi ses collègues du Conseil général des mines, outre la peine qu'inspire la rupture des liens amicaux, ont-ils véritablement senti qu'un vide se faisait parmi eux lorsque la maladie, puis la mort, le leur ont enlevé.

Cette notice, écrite par un de ses camarades qui l'a

connu dès l'École des mines et n'est depuis lors jamais resté longtemps sans le revoir, a pour objet de rappeler sa carrière et les plus importants de ses travaux.

Jutier naquit à Moulins, en 1826, d'une famille dont le nom figurait dans la magistrature locale depuis le commencement du siècle : son père y était juge. Il fit dans cette ville ses premières études à la maison paternelle, ses humanités au lycée, où il obtint des succès brillants. Après une année consacrée, à Paris, aux mathématiques spéciales, il fut admis à l'École polytechnique en 1844.

Lorsqu'éclata soudainement la révolution de Février 1848, comme beaucoup de ses camarades des écoles des mines et des ponts et chaussées, il revêtit son uniforme de polytechnicien et offrit ses services au Gouvernement provisoire, qui, dans les premières journées de son pouvoir, employa volontiers ces jeunes gens comme messagers pour contenir et modérer les foules, utilisant la popularité de l'habit qu'ils portaient. Jutier et un de ses condisciples des mines, à la tête d'un groupe de citoyens courageux, tentèrent d'arrêter le sac du château incendié de Neuilly et parvinrent à sauver une partie des richesses artistiques qu'il contenait. Cependant ils avaient affaire moins au peuple du combat politique, fort accessible en ce moment aux appels qui s'adressaient à sa générosité, qu'à une bande de malfaiteurs, mettant à profit la désorganisation de la force publique. Jutier faillit tomber entre leurs mains et y laisser la vie. Ces pillards furent jugés par la cour d'assises de la Seine, et des éloges très mérités furent décernés par le président aux deux élèves-ingénieurs.

Après deux années passées à Périgueux, il fut, au commencement de 1851, chargé du sous-arrondissement minéralogique de Colmar. Les ingénieurs de notre Corps qui se sont succédé en cette résidence ont pris une part active aux utiles travaux de la Société industrielle de

Mulhouse. Jutier ne manqua pas à la tradition. Le *Bulletin* de cette Société de 1861 et les *Annales de la Société d'émulation des Vosges* de 1860 renferment deux intéressants rapports de lui sur le développement des appareils à vapeur dans les départements du Haut-Rhin et des Vosges de 1845 et 1843 à 1858, période durant laquelle l'extension de l'emploi de la vapeur fut très rapide, comme l'on sait : en cette région l'accroissement avait été d'environ 20 pour 1.

Les thermes de Plombières, domaine de l'État, se trouvaient dans sa circonscription de service. Leur premier établissement remonte aux Romains. Ruinés dans les œuvres extérieures durant les temps de barbarie, comme presque tous les monuments de la civilisation antique, ils avaient été l'objet de reconstructions partielles à diverses époques, et notamment aux XVII^e et XVIII^e siècles : plusieurs sources froides ou de température peu élevée, dont l'eau s'emploie en boisson, avaient même été découvertes alors. Mais le captage des sources chaudes n'avait jamais été méthodiquement repris : on s'était en général contenté d'en dégager les principaux bouillons des décombres ou des alluvions qui les obstruaient. Cette situation répondait mal aux besoins de la clientèle, qui augmentait d'année en année et devenait plus exigeante. En 1856, l'empereur Napoléon III, qui séjournait pour la première fois à Plombières, décida que de nouveaux thermes seraient édifiés en aval des anciens et que d'importants travaux seraient entrepris pour embellir la ville. La recherche et l'aménagement des sources furent confiés à Jutier et l'occupèrent jusqu'en 1861. Il s'en acquitta avec beaucoup de vigilance et d'esprit d'observation et avec un entier succès.

Les griffons des eaux chaudes, les restes des bains romains se trouvent au centre même de la ville, ce qui augmentait singulièrement les difficultés et les sugges-

tions. Jutier fit exécuter une galerie qui s'ouvrait à l'aval, près d'un pont traversant la rivière d'Eaugronne, et remontait le lit de l'ancienne vallée sous la rue principale; car les Romains ont dérivé l'Eaugronne en regard des sources. Après avoir assez longtemps cheminé dans des sables et galets d'alluvion, elle pénétra, auprès des anciens thermes, dans le béton romain, dont la conservation et la solidité étaient parfaites. Ce béton isolait complètement des eaux superficielles sept sources, qui y furent captées par de courts embranchements. La galerie, continuée au delà, découvrit, à son extrémité, dans le granite une source très chaude, qui fut réunie aux eaux de deux griffons voisins, émergeant aussi du granite et reconnus un peu auparavant par des fouilles. A l'aval cet aqueduc fut prolongé, en passant sous l'Eaugronne, jusqu'à l'axe de l'établissement nouveau. Une seconde galerie, creusée en roche granitique sur le flanc sud de la vallée, eut pour objet les sources tempérées, dites savonneuses, qui à Plombières se montrent à un niveau plus élevé que les eaux chaudes, et en fit trouver cinq. Par ces travaux le débit total des eaux minérales, qui auparavant était inférieur à 180 litres par minute, se trouva porté à 450 litres environ; celui des sources dont la température dépasse 45 degrés avait passé de 172 litres à 340.

Leur action prolongée sur les briques et les mortiers des captages et des bains antiques, sur des pièces de cuivre, de fer et de plomb d'époque romaine avait donné naissance à des minéraux et à des cristaux identiques à plusieurs de ceux qui s'observent dans les filons et dans les roches. Ces transformations décelaient un des moyens par lesquels la nature produit les minéraux. Jutier en recueillit avec soin les plus beaux spécimens. On sait qu'ils ont fourni à M. Daubrée, alors ingénieur en chef à Strasbourg, le sujet de plusieurs mémoires d'un grand intérêt.

Les eaux thermales de Plombières, avant d'être utilisées en bains ou en douches, doivent être refroidies. Jutier substitua aux bassins découverts, dont on faisait usage précédemment, un appareil composé de tubes métalliques traversant un bassin où coulait une dérivation de l'Eaugronne.

De concert avec M. J. Lefort, membre de l'Académie de médecine, il a publié, en 1862, une étude très complète des thermes de Plombières, où l'on trouve, avec un intéressant résumé historique et avec tous les documents utiles sur la composition, les températures et les débits des sources, la description détaillée des derniers captages et l'exposé des observations auxquelles ils ont donné lieu.

La galerie des savonneuses avait rencontré des filons de spath-fluor, de quartz et d'halloysite : les mêmes matières se voient dans certaines des fentes par où s'échappent les eaux minérales; et celles-ci contiennent, avec une notable proportion de silice, des traces d'acide fluorhydrique, d'alumine et de fer. Il était donc rationnel de leur attribuer le remplissage des filons de Plombières. Jutier a développé ses idées à ce sujet dans une *Note sur les résultats au point de vue géologique des travaux de captage des sources minérales de Plombières*, insérée, en 1859, aux *Annales des mines*, et dans deux courtes notes communiquées à l'Académie des sciences, en 1858, par Élie de Beaumont. Il va jusqu'à regarder comme dues aux eaux minérales des roches feldspathiques en filons. L'halloysite lui paraît de formation presque contemporaine : elle aurait succédé au spath-fluor, lui-même, en général, postérieur au quartz. L'un ou l'autre de ces dépôts domine dans plusieurs des filons d'où proviennent les sources. D'autre part, il en est quelques-unes, très abondantes et très chaudes, qui sortent du granite non altéré. Jutier explique ce fait par les issues successives

qu'elles ont cherchées, après obstruction de leurs premiers canaux. Il remarque que les filons et fentes sont perpendiculaires à la direction, à peu près est-ouest, de l'étroite vallée de Plombières.

Dans le cours de ses captages, il avait eu à opérer des jaugeages fréquents et avait fait construire pour cet objet un appareil à déversoir, d'un emploi commode et donnant des résultats précis : les *Annales des mines* de 1861 en renferment une brève et claire description.

A ses travaux relatifs aux eaux minérales se rattache encore un rapport sur le rôle de l'électricité dans leurs effets thérapeutiques, qu'il a rédigé en 1866 au nom d'une Commission et qui a paru dans les *Annales de la Société d'hydrologie médicale*, dont il était membre. C'est une réfutation, fort bien ordonnée et déduite, d'un ouvrage de M. le docteur Scoutetten, où l'électricité était présentée comme la cause principale de leur action sur l'organisme.

De 1862 à 1869 Jutier fut attaché, à la résidence de Paris, au contrôle des chemins de fer de la Compagnie de Lyon.

Presque au début de cette fonction, il eut à constater les circonstances d'une explosion qui se produisit aux environs de Moulins, dans la remorque d'un train de marchandises, en tuant le mécanicien, blessant grièvement le chauffeur et projetant la locomotive à une grande distance. Son rapport, inséré aux *Annales des mines* de 1862, peut être cité comme un modèle d'étude attentive, de clarté et d'habile déduction. Les premières enquêtes, faites par les ingénieurs de la Compagnie, imputaient l'accident à un excès de tension, à un calage de soupapes, fautes fréquentes à la vérité, mais que dans l'occurrence rien ne rendait probables. Jutier démontra qu'il avait été préparé, puis occasionné par le bris de bon nombre des entretoises qui reliaient et con-

solidaient les parois externes en tôle et les plaques internes en cuivre de la boîte à feu ; car plusieurs de leurs cassures étaient anciennes, surtout au niveau où les plaques en cuivre s'étaient déchirées. Ce fait de rupture en cours de service est fréquent, et l'inspection des boîtes à feu par les agents de la traction ne fournissait nullement un moyen sûr de le reconnaître. Jutier lui assigne pour cause principale les différences de dilatation des parois en fer et en cuivre, d'où résultent, spécialement sur les entretoises supérieures, des actions répétées de cisaillement ou de flexion. Il conseillait de percer les entretoises de minces trous suivant leurs axes, afin de décèler chaque rupture par l'injection d'un filet d'eau dans le foyer, et cette utile pratique, que la Compagnie du Nord commençait à appliquer, s'est généralisée depuis. Il critiquait aussi, avec beaucoup de raison, les manomètres alors employés sur le réseau de Lyon, dont la graduation dépassait d'un kilogramme seulement la pression correspondante au timbre ou même s'arrêtait à cette pression, de sorte qu'au delà l'aiguille indicatrice était paralysée : en cas de calage ou de surcharge des soupapes, le mécanicien marchait tout à fait à l'aveugle, sans pouvoir se rendre compte du degré de son imprudence.

Appelé à la fin de 1869 aux fonctions d'ingénieur en chef et promu en 1872 à ce grade, Jutier a dirigé durant treize années et demie le service de l'arrondissement minéralogique de Châlon-sur-Saône.

Visitant très attentivement et à fréquentes reprises les mines de sa circonscription, et surtout les belles houillères de Blanzzy et du Creusot, il fut bientôt en état non seulement d'émettre dans ses rapports officiels des avis toujours judicieux et fortement motivés, mais encore de donner parfois des conseils dont les exploitants ont reconnu la valeur et apprécié l'utilité. Parmi les

perfectionnements qui furent introduits durant cette période dans les exploitations de Saône-et-Loire on peut citer comme dû en partie à son initiative l'usage de répéter à intervalles rapprochés les jaugeages des volumes d'air qui parcourent les quartiers grisouteux, en ne se bornant pas à les opérer dans les voies maitresses et en portant aussi les instruments de mesure au voisinage des tailles, c'est-à-dire aux lieux où le danger réside, ainsi que la tenue de registres spéciaux où sont inscrits les résultats de ces expériences, comme tous les faits concernant l'aérage. Il a contribué à faire reconnaître que les poussières de houille peuvent aggraver dans de fortes proportions les accidents de grisou, même que certaines explosions d'étendue restreinte sont causées par leur seule inflammation, et à faire entrer dans la pratique l'arrosage des galeries très poussiéreuses.

Son attention se porta sur l'emploi de la dynamite, qui commençait alors à se répandre, et sur les nouveaux procédés mis en œuvre dans l'attaque des roches. Il a décrit dans une note qui a paru aux *Annales des mines* de 1879 un appareil électrique dont on s'est servi à Blanzv et à Montchanin pour faire partir de loin les coups de mine.

En 1874 Jutier dirigea le sauvetage de trois ouvriers enfermés dans une carrière souterraine de pierre à plâtre des environs de Milly, par l'éboulement de l'unique puits qui la desservait, et eut la satisfaction de les retirer vivants après un seul jour d'effort. Tandis qu'on travaillait péniblement à rétablir le puits, on y remarqua un trou latéral. Il lui vint à la pensée que ce devait être l'extrémité d'un canal d'aérage : un témoin confirma la supposition, et par cette voie on put arriver auprès des ensevelis et leur tendre une corde.

La distinction soutenue des services de Jutier lui mérita, en 1880, la croix d'officier de la Légion d'honneur.

Il avait été nommé chevalier dès 1858, pour ses travaux de Plombières.

Malheureusement une fluxion de poitrine, qui faillit l'emporter dans les premiers mois de 1881, ruina sa santé auparavant robuste, et si la vivacité de sa pensée et sa capacité de travail intellectuel se sont jusqu'à la fin maintenues entières, les fatigues corporelles lui devinrent dès lors, quel que fût son courage, presque impossibles à subir. Deux hivers passés à Nice ne produisirent point d'amélioration notable. Il ressentait de très pénibles crises d'asthme; une maladie de cœur, qui ne tarda pas à se joindre à l'affection de poitrine, rendit plus fréquentes et plus douloureuses les suffocations.

En 1883 il fut nommé inspecteur général et chargé de la direction du contrôle des lignes ferrées de la Compagnie de l'Ouest. L'extrême difficulté qu'il éprouvait à voyager en chemin de fer lui fit demander une mutation de service. Il passa ainsi, en 1884, à l'inspection de la division minéralogique du Nord-Est, dont il connaissait la plus grande partie par ses fonctions antérieures.

Au mois d'août de cette année, avant d'entreprendre ses tournées, il se rendit à Moulins, chez son frère (*); mais il fut ensuite incapable de quitter la maison fraternelle, et les mois qu'il vécut encore furent remplis pour lui de cruelles angoisses physiques, malgré les soins affectueux dont il était l'objet. Il continua cependant à traiter, de Moulins, les affaires de son service qui n'exigeaient pas une visite préalable des lieux. Ne se faisant aucune illusion, il se préparait au terme prochain de sa vie, accepté presque comme une délivrance : les conversations qu'il a tenues à ceux de ses camarades dont il a reçu la visite, les lettres nombreuses qu'il a, jusqu'à la fin,

(*) Ce frère l'a suivi de bien près dans le tombeau.

adressées à quelques-uns d'entre eux en témoignent abondamment. Son âme ne s'est jamais laissé abattre. On retrouve dans sa dernière correspondance sa verve habituelle et ce vif intérêt dont le saisissaient les questions qu'il se savait capable de juger.

Aux séances du Conseil général des mines, où il s'est rendu très assidûment, sans écouter ses souffrances, tant qu'il est resté à Paris, l'utilité de sa présence a été de suite appréciée. Il y prenait souvent la parole, toujours avec fruit pour la discussion, qu'il éclairait par des arguments topiques, nettement exprimés, et par sa connaissance approfondie de l'art du mineur et de l'administration.

Août 1885.

NOTE

SUR L'EXPLOSION D'UN PISTON CREUX

DANS LES ATELIERS

DU DÉPÔT DE MACHINES DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

A MONTLUÇON (ALLIER).

Rapport de M. l'ingénieur des mines de Grossouvre.

Le 13 septembre 1884, un ouvrier du dépôt de Montluçon a été blessé mortellement dans les circonstances suivantes : cet ouvrier, le sieur Chappe, François, monteur, était occupé à faire chauffer, dans l'atelier de réparation, le piston de la machine fixe de la station d'Hyds, pour en démonter la tige ; le piston était placé au-dessus d'un petit foyer, et l'ouvrier le faisait tourner de manière à en chauffer également toutes les parties ; cette opération durait depuis trois quarts d'heure environ, quand tout à coup le piston fit explosion : les débris en furent projetés dans diverses directions et l'un d'eux vint atteindre l'ouvrier à l'arcade sourcilière du côté gauche ; il fut renversé sans connaissance, et succomba au bout de quelques jours à la suite d'un transport au cerveau.

Le piston qui a fait explosion était en fonte avec vide intérieur ; les pièces de ce type sont fondues à noyau perdu ; pour maintenir ce dernier dans le sable, on met

des supports qui, après la coulée, laissent des trous que l'on bouche ensuite au moyen de tampons vissés et rivés.

Par suite de l'explosion, le piston a été brisé en plus de vingt morceaux, qui ont été projetés à diverses distances : un morceau pesant 50 grammes a été retrouvé à 20 mètres, quelques morceaux de 200 à 250 grammes à 10 mètres, quatre morceaux de 3 kilogrammes à 1 mètre seulement du foyer ; le noyau du piston est demeuré fixé à la tige.

D'après les dires des témoins, il s'est produit au moment de l'explosion une gerbe de flamme et de fumée qui s'est élevée à une hauteur d'environ deux mètres au-dessus du foyer.

Il convient de remarquer, en passant, que ce fait n'indique pas nécessairement la présence de gaz combustibles dans l'intérieur du piston : le déplacement d'air produit par l'explosion suffit pour expliquer le phénomène qui a été observé.

Les accidents de ce genre, quoiqu'ils soient rares, se produisent néanmoins de temps à autre dans les ateliers de construction ou de réparation. Nous nous bornerons à signaler ceux sur lesquels nous avons des renseignements précis.

M. Gibon, directeur des usines de Commentry, nous a fait connaître qu'en 1872 une explosion d'un piston creux en fonte s'était produite pendant le chauffage qu'on lui faisait subir pour retirer la tige. Il explique ce fait par l'existence, dans le vide intérieur du piston, d'une certaine quantité d'eau qui y aurait pénétré grâce à la porosité de la fonte et à la pression de la vapeur : la chaleur produite par le chauffage aurait suffi pour vaporiser cette eau et déterminer une pression capable de vaincre la résistance de la fonte.

M. Forquenot, ingénieur en chef du matériel et de la

Compagnie du chemin de fer d'Orléans, nous a donné les détails suivants sur des faits analogues.

« Le 18 février 1865, aux ateliers de Tours, un ajusteur ayant mis sur l'une des forges de la chaudronnerie un piston plongeur de pompe afin d'en chauffer l'érou de la tige qui était fortement oxydé et qu'il devait démonter, ce plongeur a fait explosion, et des éclats de fer et de fonte ont été lancés dans toutes les directions. Un monteur, qui était près de là, a été blessé au menton par un éclat de fonte et a été brûlé à la paupière inférieure de l'œil droit.

« On a supposé, pour expliquer cet accident, que le plongeur, qui était fermé au deux bouts, contenait une certaine quantité d'eau qui s'était vaporisée à très haute pression.

« Le 8 juillet 1869, aux ateliers d'Ivry, un mortaiseur était occupé à pratiquer une entaille dans un piston creux. Ayant voulu s'assurer que ce travail se faisait bien, il en approcha une lumière. Aussitôt une détonation se produisit et il fut brûlé au visage et aux cheveux.

« On pensa que l'intérieur du piston contenait du gaz qui s'était enflammé au contact de la lumière. »

Un fait du même genre a été constaté également à Paris dans les ateliers du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée : on avait mis au four un piston creux, pris à la ferraille, sans s'être assuré que le bouchon avait été enlevé. On a eu une explosion formidable qui a fait voler en éclats le piston et la porte du four : on l'expliqua en admettant l'existence dans l'intérieur du piston d'une certaine quantité d'eau dont la vaporisation aurait produit une tension suffisante pour le faire éclater.

D'autres accidents analogues nous ont été signalés encore dans divers ateliers, mais comme nous n'avons

sur eux aucun renseignement précis, nous nous abstenons d'en parler.

Quoi qu'il en soit, l'ensemble des faits précédents démontre que le chauffage des pistons creux, qui ont été en service pendant un certain temps, détermine, dans le vide intérieur, une pression suffisante pour vaincre la résistance de la fonte, et produire une violente explosion.

Quelle est la cause de cette pression ?

Il faut d'abord écarter la dilatation de l'air contenu dans la capacité intérieure, car même si l'on atteignait dans le chauffage une température de 600° on n'obtiendrait qu'une pression de 4 atmosphères environ, pression bien inférieure à celle qui serait nécessaire pour vaincre la résistance de la fonte.

Devons-nous admettre que, pendant la marche, il s'est introduit dans la capacité intérieure du piston une certaine quantité d'eau qui a pu pénétrer par suite, soit d'une obturation incomplète obtenue par les tampons vissés, soit de la pression de la vapeur et de la porosité de la fonte ?

Cette dernière explication n'a en elle-même rien d'in vraisemblable, car on sait que la fonte, à moins de prendre certaines précautions spéciales, est toujours poreuse, au moins à de hautes pressions, en raison de soufflures imperceptibles qui se produisent par le refroidissement inégal des diverses parties ; dans le cas présent surtout, la forme de la pièce a dû déterminer, dans l'opération du moulage, des contractions inégales et irrégulières qui ont certainement causé de nombreuses soufflures.

Il est donc possible, et même probable, qu'à la suite d'un service plus ou moins prolongé, il pénètre de l'eau dans l'intérieur d'un piston creux en fonte ; nous ne croyons pas néanmoins que cette eau intervienne seule et

directement, car l'accident arrivé dans les ateliers d'Ivry démontre qu'il peut exister dans l'intérieur des pistons creux un gaz explosible.

M. Gibon, directeur des usines de Commentry, nous a fait observer que « l'on n'a jamais constaté d'une manière bien certaine la quantité d'eau introduite dans l'intérieur d'un piston creux ; cependant, lorsqu'on perce un trou avant de chauffer, on obtient, au moment où le foret traverse la paroi, un petit sifflement occasionné par l'air comprimé qui sort de l'intérieur : cette compression est produite évidemment par l'eau qui a pris dans l'intérieur du piston une place d'une certaine importance. »

D'autre part, M. Solacroup, ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction de la Compagnie d'Orléans, nous informe que la Compagnie n'a jamais constaté la présence d'eau dans les pistons creux de locomotives, ni de machines fixes : il en a été trouvé par contre dans l'intérieur d'un flotteur en fonte (de niveau de machine fixe) et dans des clapets creux en bronze : dans certains cas le volume d'eau a pu atteindre le quart et même le tiers du volume total.

Remarquons que le fait signalé par M. Gibon démontre seulement l'existence, dans l'intérieur des pistons, d'un gaz comprimé, mais rien ne prouve que cette compression soit produite par une introduction d'eau ; elle pourrait être le résultat de réactions chimiques.

Ainsi, on pourrait supposer qu'il est entré à l'intérieur du piston une certaine quantité d'eau entraînant avec elle un peu des matières grasses qui servent à la lubrification du piston, et que sous l'action de la chaleur les matières se volatiliseront en donnant des carbures d'hydrogène : ces derniers formeraient un mélange explosif avec l'oxygène de l'air.

Il est d'ailleurs permis de penser que les actions chimiques qui ont lieu dans l'intérieur des pistons creux

peuvent être assez différentes de celles qui sont obtenues dans les expériences de laboratoire; car on a en présence, pendant un grand nombre d'années, des corps soumis à des variations de températures assez considérables: tantôt à celle de la vapeur d'eau, c'est-à-dire à environ 160°, quand la machine est en marche, tantôt à la température ordinaire, quand celle-ci est au repos.

Pour jeter quelque jour sur cette question, M. Forquenot a bien voulu faire ouvrir le piston d'une machine fixe en service depuis onze ans: on y a trouvé, à l'état de grains et de poussière, une matière brune dont le poids total était de 702 grammes et le volume de 445 centimètres cubes.

Une analyse de cette substance, faite au laboratoire du Bureau d'essai de l'École des mines, a donné les résultats suivants:

Matière grasse.	3,30
Fer oxydulé.	84,80
Peroxyde de fer.	traces
Carbone.	0,60

Une autre analyse, faite dans le laboratoire de la Compagnie d'Orléans, a donné des résultats un peu différents: la proportion trouvée pour le carbone et les matières grasses était notablement plus élevée que dans la précédente: ces différences peuvent s'expliquer par le défaut d'homogénéité de la matière examinée.

La surface intérieure du piston montre des corrosions très irrégulières: l'oxyde de fer magnétique provient donc d'une oxydation de la fonte.

La quantité d'oxyde magnétique recueillie correspond à 164 grammes d'oxygène, et l'air renfermé à l'intérieur du piston, dont le volume est inférieur à trois litres, n'a pu en fournir même un gramme.

Il faut donc nécessairement admettre l'introduction de

matières oxydantes dans le piston; l'hypothèse la plus simple et la plus vraisemblable consiste à supposer que l'eau a joué ce rôle: 184 grammes d'eau auraient suffi pour produire la quantité d'oxyde trouvée.

Les analyses indiquent que la matière examinée contenait au moins 23 grammes de matière grasse, quantité relativement considérable et qui ne peut être attribuée à l'excès d'huile employée pour la mise en place des tampons taraudés: il faut donc encore nécessairement admettre que cette matière grasse s'est introduite ultérieurement, en même temps que l'eau qui a causé l'oxydation de la fonte.

Les considérations précédentes conduiraient à expliquer le phénomène de la manière suivante: il y aurait introduction à l'intérieur du piston d'une certaine quantité d'eau et de matière grasse; dans les conditions ordinaires de service du piston, cette eau serait décomposée par la fonte et donnerait naissance à de l'oxyde magnétique; en même temps, l'hydrogène mis en liberté remplirait sous pression le vide intérieur du piston.

En chauffant le piston et en l'amenant à la température de 5 à 600° un phénomène inverse se produirait, identique à celui qui est réalisé dans les laboratoires, lorsque l'on obtient du fer métallique à la température du rouge naissant, en réduisant de l'oxyde de fer par de l'hydrogène. La combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène de l'oxyde de fer aurait probablement lieu subitement, en produisant une véritable explosion qui déterminerait la rupture du piston.

Pour démontrer d'une manière irréfutable l'exactitude de cette explication, il faudrait faire l'analyse du gaz renfermé dans le vide intérieur d'un piston creux, analyse qui n'a pas été faite.

Quelle que soit d'ailleurs la cause des explosions, la précaution à prendre pour les éviter est bien simple: il

suffit de percer un trou, ou plutôt deux, afin de pouvoir, comme l'explosion d'Ivry en démontre la nécessité, chasser par un courant d'air ou par l'introduction d'un liquide, les gaz qui se trouvent à l'intérieur du piston.

Nous pensons donc qu'il y a lieu de recommander cette pratique dans tous les ateliers où l'on peut avoir à chauffer des pistons creux.

Avis de la Commission centrale des machines à vapeur.

La Commission centrale, dans sa séance du 6 mai 1885, a émis l'avis suivant, proposé par M. l'ingénieur en chef Julien, rapporteur :

1° « L'explosion du piston creux survenue à Montluçon le 13 septembre 1884 et qui a causé la mort du monteur Chappe, paraît due à l'expansion des gaz ou vapeurs dans un espace fermé sous l'influence d'une forte température ;

2° « Il est important que ces faits, encore peu connus, soient portés à la connaissance du plus grand nombre par leur publication dans les *Annales des ponts et chaussées* et dans les *Annales des mines*, et dans d'autres recueils, si cela est possible, afin de provoquer des recherches nombreuses sur ces phénomènes, qui méritent d'être étudiés ».

COMMISSION D'ÉTUDE
DES MOYENS PROPRES À PRÉVENIR LES EXPLOSIONS DE GRISOU
DANS LES HOUILLÈRES

ANALYSE SYNOPTIQUE
DES RAPPORTS OFFICIELS
SUR LES

ACCIDENTS DE GRISOU EN FRANCE

DE 1817 À 1881

DRESSÉE AU NOM DE LA COMMISSION

Par MM. JULES PETITDIDIER et CHARLES LALLEMAND
Ingénieurs au corps des Mines.

Cinquième fascicule (*).

NOTE PRÉLIMINAIRE.

Nous donnons aujourd'hui la statistique détaillée des accidents de grisou pour le *groupe des bassins houillers du Gard*.

Ces accidents, au nombre de 124, appartiennent tous au *bassin d'Alais* et se répartissent entre les 15 concessions de la Grand'Combe, Trescol et Pluzor, Champclauson, la Levade et la Tronche, Saint-Jean de Valerisole, formant le groupe de la Grand'Combe, Robiac et Meyrannes, Tréllys et Palmesalade, Portes et Sénéchas, les Salles de Gagnières, Comberedonde, Lalle, Cessous et Trebiau, les Pinèdes, Collobrières, Sallefermouse et Pigère.

Aucun accident, dû au grisou, n'est survenu dans les deux autres bassins du même groupe : *Aubenas* et *Le Vigan*.

Paris, le 1^{er} août 1885.

(*) Voir, pour les quatre premiers fascicules, *Annales des mines*, 1882, 1^{er} vol., p. 293, et 2^e vol., p. 393 ; 1883, 2^e vol., p. 67 ; 1884, 2^e vol., p. 73.

STATISTIQUE DES

A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS.

1. Groupe de la Grand'Combe.

(Instituée par décret

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
458	1817 7 Août	?	1	»	42	4310	?	?	?
459	1840 7 mai	Mine d'Abylon — Couche Minette.	1 Brûlé.	2 Brûlés grièvement.	424	106475	Taille montante abandonnée depuis 45 jours et dont le front se trouvait à 30 ^m du courant d'air.	Lampe à feu nu.	
460	1841 15 Juin.	Mine Sans-Nom	»	2	id.	Id.		?	?
461	1842 Novembre.	Mine Luce. Couche de la Grand' Baume.	1 Asphyxié.	»	620	132678	Insuffisance normale de l'aérage.	Lampe à feu nu	Imprudence des ouvriers qui, ayant constaté la présence du grisou dans une galerie de roulage, avaient, en se retirant, abandonné une lampe à feu nu dans un chantier voisin.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

— 1^o Concession de la Grand'Combe.

du 19 Mars 1782).

OBSERVATIONS.	
11	
Pas de renseignements.	
<p>Circonstances de l'accident. — Une taille montante de la couche Minette était abandonnée depuis 45 jours à cause du mauvais air. De la couche supérieure, distante de 4 mètres, on perçait un trou de sonde pour donner issue aux gaz. Le maître mineur et un chef de poste s'étaient rendus dans la taille, pour s'assurer de la bonne direction donnée au trou de sonde; ils avaient eu soin de laisser leurs lampes dans le courant d'air.</p> <p>Comme ils n'entendaient pas le choc de la sonde, le chef de poste rétrograda vivement pour aller donner aux ouvriers du chantier supérieur l'ordre de frapper. Au moment où il passait près d'un ouvrier arrivé depuis quelques instants à 45^m du front de taille, une explosion de grisou se produisit.</p> <p>L'ouvrier fut brûlé mortellement; le maître mineur et le chef de poste furent atteints aussi assez grièvement.</p> <p>Remarques particulières. — Le front de la taille où l'accident s'est produit se trouvait à 30^m du courant d'air.</p> <p>On a supposé que le mouvement du chef de poste avait entraîné du gaz inflammable sur la lampe à feu nu que portait l'ouvrier arrêté à 45^m du front de taille.</p>	
Pas de renseignements.	
<p>Indications générales. — L'aérage se faisait naturellement, à la faveur d'une différence de niveau de 50^m entre la galerie d'entrée de l'air et celle de sortie.</p> <p>Le courant était dirigé dans les divers chantiers au moyen de portes. Mais le circuit à parcourir était long et la vitesse, généralement faible, devenait même nulle quand la température extérieure s'élevait.</p> <p>Circonstances de l'accident. — Plusieurs ouvriers, occupés dans une voie de roulage, constataient que l'air devenait lourd et que la flamme des lampes s'allongeait. Pressentant le danger, ils se retirèrent et allèrent à la recherche du chef de poste pour le prévenir.</p> <p>Pendant leur absence, le grisou prit feu à une lampe à feu nu qu'ils avaient abandonnée dans un chantier voisin de la galerie.</p> <p>Un ouvrier qui travaillait à 30^m de là, dans un autre chantier, eut sa lampe éteinte à la suite de</p>	

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE
1. — BASSIN D'ALAIS
2. — Groupe de la Grand'Combe.

N ^{os} d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.			
462	1844 24 Décembre.	Mine Mourier.	»	8 Brûlés dont 1 grièvement.	590	172920	Dégagement accidentel de grisou, à la suite d'un éboulement, dans une traverse aérée seulement par diffusion.	Lampe à feu nu	Imprudence de la principale victime, qui avait cherché à reconnaître l'éboulement, en se servant d'une lampe à feu nu.
463	1845 16 Avril.	Mine d'Abylon.	1	» Brûlé.	602	157592	Remontée en percement abandonnée	Lampe à feu nu	Imprudence de la victime, qui s'était introduit dans une remontée abandonnée, avec une lampe à feu nu, et malgré un barrage qui en défendait l'entrée.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard..

— 1^o Concession de la Grand'Combe (suite).

OBSERVATIONS.

41

l'explosion et périt, en cherchant à fuir, asphyxié par le mauvais air.

Remarques particulières. — Après l'accident, la galerie de roulage a été retrouvée remplie d'acide carbonique sur une longueur de 160^m.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Un foyer d'appel a été installé sur la galerie du retour d'air, pour aider, en cas de besoin, l'aération naturelle.

Indications générales. — L'aération des chantiers de défilage ne se faisait que par diffusion. Le grisou ne s'était encore montré dans cette mine qu'une seule fois, dans une remontée mal aérée.

Circonstances de l'accident. — On enlevait quelques piliers de 10^m de côté dans le voisinage d'un plan incliné. Le maître mineur, ayant reconnu que le toit de l'une des traverses menaçait de s'ébouler, avait fait enlever les outils des chantiers de cette traverse et les avait fait déposer dans le plan incliné. Le lendemain matin, deux ouvriers allant chercher leurs outils dans cette galerie, s'aperçurent que l'éboulement avait eu lieu pendant la nuit. L'un d'eux s'avança avec sa lampe à feu nu pour le reconnaître et détermina une explosion de grisou que le brûla assez fortement; le second ouvrier resté à quelques pas en arrière, et six autres travaillant dans des chantiers voisins, furent légèrement atteints.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités :

- 1^o A faire aérer directement les chantiers de défilage sujets aux éboulements ;
- 2^o A munir les ouvriers de lampes de sûreté jusqu'à ce que cette mesure fut exécutée ;
- 3^o A faire visiter tous les chantiers avant l'entrée des ouvriers.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier, qui travaillait au remblai d'une galerie de roulage, pénétra avec sa lampe à feu nu dans une remontée abandonnée, dans le but d'y prendre un bois. Le grisou qui s'y était accumulé prit feu. L'ouvrier fut brûlé mortellement et contusionné par un éboulement qui se produisit au moment de l'explosion.

Remarques particulières. — La remontée, où a eu lieu l'accident, avait été abandonnée à cause de la présence du grisou, et barrée au moyen de deux planches en croix.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à ne plus faire usage que de lampes de sûreté dans celles de leurs exploitations où le grisou se montrait.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.
1. — BASSIN D'ALAIN
1. — Groupe de la Grand'Combe

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
464	1846 4 Août.	Mine Luce.	»	6	613	168608	Présence accidentelle du grisou, à la partie supérieure d'une galerie de niveau, et à 20 ^m d'un chantier de défilage.	Lampe de sûreté délamisée.	Imprudence de l'une des victimes qui avait ouvert une lampe de sûreté.
465	1847 5 Novembre.	Mine Four-nier.	3	»	625	159400	Chantier abandonné.	Accident par asphyxie, sans inflammation du grisou.	Insuffisance du barrage établi à l'entrée du chantier abandonné. État d'ivresse dans lequel se trouvait la première victime, qui s'était égaré dans ce chantier envahi par le grisou.
466	1848 3 Avril	Id.	5	5	620	170500	Ralentissement momentané du courant d'air, dans une galerie de niveau, par suite de la détérioration d'une porte d'aéragé.	? Lampe de sûreté inclinée ou Tentative d'allumage d'une pipe ou d'un cigare sur cette même lampe.	Imprudence de l'une des victimes, qui avait pénétré dans une galerie suspecte, barrée par des bois en croix.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

— a. Département du Gard.

— 1^o Concession de la Grand'Combe (suite).

OBSERVATIONS.

11

Circonstances de l'accident. — Six ouvriers étaient occupés dans un quartier de défilage à l'extrémité d'une galerie de niveau. Deux d'entre eux étaient au travail; les quatre autres se trouvaient à 20^m en arrière; ils venaient de prendre leur repas. L'un d'eux avait ouvert sa lampe de sûreté; au moment où l'un de ses camarades élevait cette lampe pour y allumer sa pipe, une explosion de grisou se produisit; les flammes s'étendirent jusqu'au chantier et les six ouvriers furent tous grièvement brûlés.

Remarques particulières. — Les chantiers n'étaient jamais visités avant l'arrivée des ouvriers. Les lampes de sûreté n'étaient pas remises aux ouvriers fermées à clef.

Circonstances de l'accident. — Un jeune ouvrier, ivre, auquel le chef de poste avait donné l'ordre de sortir de la mine, se trompa de chemin en partant; il pénétra dans un chantier abandonné plein de grisou et tomba asphyxié après avoir fait quelques pas. Son père et un autre ouvrier allant à sa recherche, tombèrent eux-mêmes asphyxiés près de lui.

On ne s'aperçut de la disparition de ces trois hommes que le lendemain matin. Il fallut établir un ventilateur pour rendre le chantier accessible et retirer les cadavres.

Remarques particulières. — Le chantier abandonné n'était barré qu'au moyen de pièces de bois disposées en croix.

Le chef de poste eut dû faire conduire l'ouvrier hors de la mine et ne pas le renvoyer seul.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Un arrêté préfectoral du 10 décembre 1847 a prescrit la fermeture efficace des chantiers abandonnés ou suspendus pour un certain temps.

Circonstances de l'accident. — Une des portes d'aéragé d'un plan incliné ayant été détériorée par la chute d'un wagon, le grisou s'était accumulé vers l'extrémité d'une galerie de roulage, en quantité assez grande pour qu'il fût dangereux d'y travailler. Le chef de poste fit placer dans cette galerie, à 100^m du plan incliné, quelques bois en croix pour interdire momentanément le passage, jusqu'au complet rétablissement du courant d'air.

Un ouvrier, dans un état voisin de l'ivresse, s'engagea dans la galerie au-delà du barrage. Quelque temps après, une explosion de grisou se produisit. Quatre ouvriers, qui se trouvaient à 50^m du niveau, furent renversés et brûlés mortellement; cinq autres ouvriers, placés au bas du plan incliné, furent également atteints. Le premier ouvrier fut retrouvé mort à 55^m du barrage.

La poussière de charbon fut soulevée fortement dans toute la galerie, jusqu'au plan incliné.

Remarques particulières. — La lampe de sûreté, dont était porteur l'ouvrier qui s'était aventuré dans la galerie au-delà du barrage, présentait une tache grisâtre à un centimètre du bord supérieur du treillis. On a supposé que cette tache était due aux cendres d'une pipe ou d'un cigare, que l'ouvrier aurait essayé d'allumer, ou à celles de la poussière de charbon qui recouvrait le treillis et qui aurait brûlé par suite d'une inclinaison trop grande donnée à la lampe.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.
1. — BASSIN D'ALAIS.
1. — Groupe de la Grand'Combe.

Nos d'ordre. 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTIO annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes Indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
457	1848 21 No- vembre.	Mine Roux.	»	2	620	170500	Suspension momentanée du travail, pendant le repas des ouvriers, dans un chantier situé à 10 ^m du courant d'air.	Ouverture inopinée d'une lampe de sûreté mal refermée	Imprudence de l'une des victimes, qui avait ouvert sa lampe de sûreté et l'avait ensuite mal refermée.
468	1849 2 Dé- cembre.	Mine Four- nier	»	2	610	101405	Dégagement de grisou à la partie inférieure d'un plan incliné, au moment de sa mise en communication avec une remontée au rocher, prise à un niveau inférieur.	Feu d'une pipe.	Imprudence de l'une des victimes qui, malgré les réclameurs, fumait dans la mine.
469	1851 12 Octo- bre.	D ^o	»	2	515	98500	Chantier en remonte, ouvert dans un niveau où passait le courant d'air.	Flamme d'une lampe de sûreté passée au travers du treillis, par suite de l'inclinaison donnée à cette lampe, et d'une élévation intempestive de la mèche.	Imprudence des victimes, qui avaient pénétré dans un chantier dangereux. Maladresse de l'une d'elles dans une manœuvre de la mèche de sa lampe de sûreté.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

— 1^o Concession de la Grand'Combe (suite).

OBSERVATIONS.

11

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers se préparaient à sortir de leur chantier, où ils venaient de prendre leur repas, lorsque la lampe de sûreté de l'un d'eux s'ouvrit et provoqua l'explosion d'une certaine quantité de grisou qui s'était accumulé dans le chantier pendant la suspension du travail. Les deux ouvriers furent brûlés légèrement.

Remarques particulières. — Le chantier où s'est produit l'accident était éloigné de 10^m du courant d'air.

Le maître-mineur l'avait visité quelques instants avant le repas des ouvriers et n'y avait pas reconnu la présence du grisou.

La mèche de la lampe qui a occasionné l'accident, était recouverte de grains de charbon, ce qui prouverait qu'elle avait été d'abord ouverte pendant un temps plus ou moins long. Elle avait été sans doute mal refermée, et une secousse avait suffi pour faire tomber le récipient.

Circonstances de l'accident. — Au moment où la partie inférieure du plan incliné de la Pilouse avait été mise en communication avec une remontée au rocher prise au niveau inférieur de Luce, le grisou s'était dégagé dans le plan incliné. L'ouvrier qui travaillait au percement avait éteint sa lampe; mais au moment où il criait à un rouleur, qui descendait le plan incliné, d'éteindre la sienne, une explosion de grisou eut lieu. Les deux ouvriers furent grièvement brûlés.

Remarques particulières. — La lampe du rouleur était en bon état, mais cet ouvrier fumait au moment de l'explosion, et c'est à cette imprudence que l'accident a été attribué.

Indications générales. — L'éclairage était très bon dans la galerie de niveau.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers allaient chercher quelques outils dans un chantier en remonte de la couche de la Pilouse, ouvert dans un niveau où passait le courant d'air. Celui qui était en arrière s'étant aperçu de la présence du grisou, se hâta d'éteindre sa lampe et d'avertir son camarade. Celui-ci inclina la sienne pour manier le pique feu et, dans son trouble, éleva la mèche au lieu de l'abaisser; le treillis rougit aussitôt et une explosion eut lieu. Les deux ouvriers furent assez grièvement brûlés.

Remarques particulières. — Le chantier où s'est produit l'accident n'avait que 5^m d'avancement.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.
1. — BASSIN D'ALAIN.
f. — Groupe de la Grand'Combe.

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
470	1852 3 Mars.	Mine Sans-Nom.	»	1	469	94.436	Dégagement inopiné de grisou dans un chantier distant de 3 ^m 50 seulement du courant d'air	Lampe à feu nu.	Cause fortuite.
471	Id. 21 Décembre.	Mine Luce.	1	»	id.	id.	?	?	?
472	1853 17 Février.	Id.	»	1	380	128.852	?	?	?
473	Id. 22 Mai.	Id.	»	5	Id.	id.	Dégagement assez abondant de grisou à l'avancement d'une galerie de direction, de 75 ^m de longueur, aérée au moyen d'une cloison.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence des victimes qui avaient employé la poudre, malgré la défense formelle qui en était faite.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

— 1^o Concession de la Grand'Combe (suite).

OBSERVATIONS.	
11	
<p>Indications générales. — On n'avait jamais reconnu la présence du grisou dans cette mine. Les ouvriers y travaillaient avec des lampes à feu nu.</p> <p>Circonstances de l'accident. — Un ouvrier, ayant besoin d'un outil, était venu le chercher dans un chantier inoccupé depuis six heures seulement. Pendant qu'il grattait avec ses doigts le menu entassé sur le sol, une légère inflammation de grisou se produisit. Il fut assez fortement brûlé. L'explosion fut à peine entendue à quelques pas de là.</p> <p>Remarques particulières. — Le chantier, où a eu lieu l'explosion, était éloigné de 3^m50 seulement du courant d'air. Il avait été visité deux heures auparavant par le chef de poste qui n'y avait constaté aucune trace de gaz. On n'en a pas retrouvé non plus après l'accident. Quelques minutes avant celui-ci, un ouvrier avait pénétré dans le chantier avec sa lampe à feu nu sans provoquer d'explosion.</p> <p>Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont spontanément prescrit l'emploi des lampes de sûreté dans le chantier où avait eu lieu l'accident, ainsi que dans tous ceux où les chefs de poste auraient, dans leur visite quotidienne, reconnu la présence du grisou, de l'hydrogène sulfuré ou de tout autre gaz méphytique.</p>	
Pas de renseignements.	
Pas de renseignements.	
<p>Indications générales. — On percevait, dans le banc supérieur de la mine Luce, un niveau destiné à améliorer l'aérage.</p> <p>Une cloison établie dans l'axe de la galerie, forçait l'air à passer au front de taille où le charbon tendre et fissuré donnait assez de gaz.</p> <p>De plus le tirage à la poudre y était interdit.</p> <p>Circonstances de l'accident. — Le dimanche 22 mai, cinq ouvriers seulement travaillaient dans la mine Luce à l'avancement de la galerie de direction. Malgré la défense formelle qui en était faite, les ouvriers allumèrent un coup de mine et se mirent à l'abri à 50^m en arrière. Le coup partit sans tirer la houille, mais il fut accompagné d'une explosion de grisou qui brûla légèrement les cinq ouvriers.</p>	

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE
1. — BASSIN D'ALAIN
1. — Groupe de la Grand'Combe

Nos d'ordre	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.			
474	1853 20 Décembre.	Mine Luce	»	1	380	128852	»	»	»
475	Id. 21 Décembre.	Id	»	1 Brûlé légèrement.	13	Id.	Rencontre inopinée d'une poche de grisou à l'avancement d'une galerie et dans un rejet de la couche	Flamme projetée par les canettes d'un coup de mine qui, d'ailleurs, n'est pas parti.	Cause fortuite.
476	Id. 26 Décembre.	Mine du Pin.	»	1 Brûlé grièvement.	Id	Id	Suspension du travail pendant 36 heures dans une galerie en descente à l'avancement de la	? Flamme chassée hors du treillis d'une lampe de sûreté.	Imprudence de la victime qui, ayant reconnu la présence du grisou dans son chantier, n'avait pas

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

1. — Concession de la Grand'Combe (suite).

OBSERVATIONS.

11

Remarques particulières. — La galerie de direction avait atteint au moment de l'accident, 75^m de longueur.
Le gaz ne devait pas y être abondant, car l'explosion n'a produit d'autre effet matériel que le déplacement de deux planches de la cloison d'aérage.
Un mois auparavant, les ouvriers du même chantier, en violant l'ordre qui leur avait été donné de ne pas employer la poudre, avaient déjà causé une explosion, qui d'ailleurs n'avait pas fait de victime.

Pas de renseignements.

Indications générales. — On ne travaillait pas ordinairement à la poudre dans le quartier de la mine avoisinant le plan N° 2.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers qui travaillaient à l'avancement du plan N° 2, y avaient allumé un coup de mine. Deux fois les canettes s'étaient éteintes, deux fois elles avaient rallumées. A la troisième, une explosion de grisou se produisit. L'un des deux ouvriers put se jeter la face contre terre et ne fut pas atteint, l'autre fut brûlé peu grièvement. L'explosion fut d'ailleurs assez faible.

Remarques particulières. — L'avancement du plan N° 2 venait de rencontrer un rejet de la couche et de quitter le charbon franc, pour pénétrer dans un massif de grès et de schistes.

Le matin même, le chef de poste dans sa visite au chantier, n'y avait constaté aucune trace de grisou et y avait autorisé provisoirement l'usage de la poudre. On n'y a pas retrouvé non plus de trace de gaz après l'accident.

On a supposé que le grisou s'était dégagé inopinément d'une poche existant dans les schistes et mise à jour par le progrès de l'avancement.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Le tirage à la poudre a été interdit dans ce quartier de la mine.

Indications générales. — La mine du Pin était bien aérée et ne présentait pas d'ordinaire de traces sensibles de grisou. Toutefois, par mesure de précaution, l'emploi des lampes de sûreté y avait été prescrit depuis un quinzaine de jours.

Circonstances de l'accident. — Le lundi 26 décembre au matin, au moment de la reprise du travail, un ouvrier se rendant à son chantier à l'avancement d'une galerie en descente, y avait constaté la

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.
1. — BASSIN D'ALAIS.
1. — Groupe de la Grand'Combe.

N ^{os} d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.	quelle se trouvait, au toit, une sorte de cloche déterminée par un léger ressaut de la couche.		attendu le chef de poste et avait cru pouvoir y rentrer sans danger.
477	1853 30 Décembre.	Mine d'Abylon.	4 dont 1 Brûlé 2 asphyxiés 1 contusionné.	2 Contusionnés dont 1 grièvement.	380	428852	Dégagement imprévu de gaz dans un chantier situé à 45 ^m du courant d'air.	Flamme d'un coup de mine.	•
478	1854 2 Septembre.	Id.	12	3	400	101040	?	?	?

ACCIDENTS DE GRISOU.
3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.
— 1^o Concession de la Grand'Combe (suite).

OBSERVATIONS.

41

présence du grisou. Rebranchant aussitôt chemin, il était allé prévenir de ce fait un de ses camarades, qui l'avait engagé à attendre la tournée du chef de poste. Un autre ouvrier lui avait aussi indiqué qu'en baissant presque complètement la mèche de sa lampe, il pouvait sans danger reconnaître si le grisou était en quantité notable.

Le chef de poste se faisant attendre, le mineur, désireux de faire preuve de courage, se décida à essayer lui-même de rentrer dans son chantier. Comme on lui avait recommandé d'agiter l'air avec sa veste, il prit celle-ci d'une main, sa lampe de l'autre, et s'avança résolument. Quelques instants après, une explosion de grisou se faisait entendre, suivie d'un violent courant d'air. On releva le malheureux grièvement brûlé.

Remarques particulières. — La galerie en descente où l'accident s'est produit avait 80^m de longueur. Son inclinaison était irrégulière, et, près du front de taille, un léger ressaut de la couche avait déterminé, au toit, une sorte de cloche dans laquelle le gaz s'était accumulé pendant l'interruption de travail qui avait régné dans toute la mine, depuis le samedi soir précédent, c'est-à-dire pendant 36 heures.

La lampe de la victime a été retrouvée intacte.

La cause de l'inflammation du gaz est restée inconnue; on a supposé qu'en agitant sa veste, la victime avait pu provoquer la sortie de la flamme de sa lampe hors du tamis.

Indications générales. — On n'avait jamais constaté la présence du grisou dans le quartier de droite du plan N^o 2 d'Abylon. L'abatage à la poudre y était autorisé.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillant dans un chantier éloigné de 45^m du courant d'air, avaient allumé un coup de mine et s'étaient retirés à 20^m en arrière. Le départ du coup fut accompagné d'une explosion de grisou; ces deux ouvriers furent brûlés et asphyxiés. Un troisième ouvrier, occupé à plus de 300^m du foyer de l'explosion, fut mortellement brûlé. Trois rouleurs furent renversés: le premier fut tué sur le coup, le second grièvement blessé et le troisième légèrement contusionné. Ils se trouvaient tous trois à environ 400^m du lieu de l'explosion.

Remarques particulières. — Le gaz a dû se dégager d'une manière inopinée par les fissures du gros nerf de la couche.

Mesures prises à la suite de l'accident. — On a établi des cloisons dans tous les chantiers du quartier de droite du plan N^o 2 d'Abylon, afin d'amener l'air jusqu'aux fronts de taille.

Pas de renseignements.

A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIN

1. — Groupe de la Grand'Combe

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
479	1855 3 Avril.	Mine Sans Nom.	»	1	575	108397	Présence d'une sorte de cloche déterminée par un renflement de la couche, au toit et près de l'extrémité d'un niveau en percement, en un point où venait déboucher un chantier en descente.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de la victime, qui avait détamisé sa lampe de sûreté.
480	Id. 13 Décembre	Id.	»	1	Id.	Id.	?	?	?
481	1856 13 Juin.	Id.	2	»	418	119853	Niveau en percement de 30 ^m de longueur, aéré seulement par diffusion.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence de l'une des victimes qui avait tiré un coup de mine malgré la défense formelle qui lui en avait été faite par le chef de poste.
482	1853 16 Juillet.	Mine Luce N° 2.	»	1	313	76687	Dégagement d'une petite quantité de grisou à la partie supérieure d'une excavation faite au toit d'un niveau et communiquant par un trou de sonde avec des travaux supérieurs.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de la victime qui avait dévisé sa lampe et enlevé la toile métallique, malgré la défense de ses chefs, et l'avait élevée au sommet de l'excavation.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

1^o Concession de la Grand'Combe (suite).

OBSERVATIONS	
41	
<p>Circonstances de l'accident. — Un ouvrier, travaillant dans un chantier en descente, ouvert près de l'extrémité d'un niveau, avait détamisé sa lampe de sûreté. Voulant prendre son repas, il se dirigeait avec cette lampe vers ses provisions qu'il avait suspendues au premier cadre de la descente. En élevant sa lampe, il détermina l'explosion d'une petite quantité de grisou accumulé au toit du niveau. Il fut brûlé grièvement. Trois ouvriers, occupés à l'avancement du niveau, aperçurent la flamme à la partie supérieure de la galerie; ils se précipitèrent aussitôt à terre et ne furent pas atteints.</p> <p>Remarques particulières. — Par suite d'un renflement de la couche, le toit du niveau se trouvait surélevé à l'entrée de la descente et formait en ce point une sorte de cloche.</p>	
Pas de renseignements.	
<p>Circonstances de l'accident. — Un maître-mineur, ayant reconnu la présence du grisou dans un niveau en percement dans une galerie descendante, avait placé dans un chantier voisin les ouvriers qui travaillaient à l'avancement de ce niveau, en leur recommandant d'observer la défense de travailler à la poudre, qui leur avait été faite précédemment. Le chef de poste renouvela cette recommandation aux ouvriers du poste suivant. Néanmoins, l'un d'eux, malgré les observations de deux ouvriers travaillant avec lui, et celles des ouvriers du chantier voisin, fit partir un coup de mine dans le chantier abandonné. Une explosion de grisou s'ensuivit: cet ouvrier et un autre qui s'était endormi dans la galerie descendante, furent écrasés sous un éboulement déterminé par l'explosion sur plusieurs mètres de longueur de galerie.</p> <p>Tous les autres ouvriers avaient eu soin de se rendre au puits avant le tirage du coup de mine.</p>	
<p>Circonstances de l'accident. — On devait établir une communication entre la mine Luce et le nouveau quartier d'Abylon situé au-dessus; un sondage vertical avait été fait pour donner un écoulement aux eaux qui auraient pu se trouver dans le quartier d'Abylon. Le trou de sonde avait été percé au fond d'une excavation de 3^m de hauteur, faite au toit d'un niveau, et dans laquelle deux planchers avaient été établis. Le percement avait été terminé pendant la nuit.</p> <p>Les ouvriers du poste de jour attendaient le chef de poste qui devait leur donner du travail; l'un d'eux rassemblait les outils ayant servi au sondage; pour chercher l'un de ces outils, il éleva sa lampe de sûreté détamisée au-dessus du second plancher, au sommet de l'excavation, et enflamma une petite quantité de grisou qui lui fit des brûlures sans gravité.</p>	

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE
1. — BASSIN D'ALLAS
1. — Groupe de la Grand'Combe

N ^o d'ordre. 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
						Tonnes.			
483	1864 17 Fé- vrier.	?	»	2	252	67580	»	»	»
484	1865 16 Juin.	Mine Fournier	»	»	228	55405	»	»	»
485	1867 12 Jan- vier.	?	»	1	242	54710	»	»	»

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

— 1^o Concession de la Grand'Combe. (suite).

OBSERVATIONS.

11

Remarques particulières — Il était recommandé aux ouvriers de ne pas dévisser leurs lampes de sûreté. Un arrêté préfectoral du 15 novembre 1846 prescrivait l'emploi des lampes de sûreté dans la mine.

La quantité de gaz inflammable était peu considérable, car il n'y eut pas d'explosion. mais une très légère inflammation.

Pas de renseignements.

Pas de renseignements.

Pas de renseignements.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.
1. — BASSIN D'ALAIS
1. — Groupe de la Grand'Combe.

1	2	3	NOMBRE d'ouvriers		6	7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			4	5			Causes directes		40
							8	9	
486	1867 3 Juillet.	?	»	2	242	54.740	»	»	»
487	1868 7 novembre.	?	»	1	232	Id.	»	»	»
488	1870 21 octobre.	Mine Fournier — Puits de la Forêt. — Couche d'Abylon	2 dont 1 Brûlé 1 Projeté.	»	253	56.819	?	?	?

Dégagement exceptionnel de grisou, à l'extrémité d'un niveau où passait le courant d'air
ou
Arrêt momentané de la ventilation résultant de l'ouverture d'une porte d'aéragé

Lampe de sûreté ouverte.

Imprudence de l'une des victimes qui aurait ouvert sa lampe de sûreté.

ACCIDENTS DE GRISOU.
3. — GROUPE DU GARD.
a. — Département du Gard.
1. — Concession de la Grand'Combe. (suite).

OBSERVATIONS.

11

Pas de renseignements.

Pas de renseignements.

Indications générales. — L'aéragé était satisfaisant. Il était obtenu au moyen d'un ventilateur Fabry, placé près de l'entrée de la galerie des Trois-Mines. L'air rentrait par le puits de la Forêt, suivait la parallèle supérieure, descendait par la dernière remontée, revenait vers le puits par la galerie du fond, et gagnait par une remontée la galerie supérieure du niveau des Trois-Mines. Un barrage en briques, muni d'une ouverture, servait à régler la quantité d'air destiné à alimenter ce courant.

On poussait, dans la couche Abylon, à partir du puits de la Forêt, une galerie destinée à rejoindre les travaux d'un autre puits; la galerie avait 449 mètres de longueur.

Une galerie parallèle, située à 14^m plus haut, suivait la précédente et était reliée avec elle par des remontées espacées entre elles de 60 à 70^m. Au-delà de la dernière remontée, les avancements étaient aérés au moyen d'une cloison horizontale arrivant près du front de taille et d'une porte placée près de la remontée.

Le quartier de la mine dégagait beaucoup de grisou.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE
1. — BASSIN D'ALAR
a. — Groupe de la Grand'Combe

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes directes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	
						Tonnes			
489	1871 27 Fé- vrier.	Mine Sans- Nom. — Couche Airolle.		1 Brûlé légère- ment.	271	51274	Vide produit produit par un coup de mine au front de taille d'une remontée de 15m de longueur, aérée au moyen d'une cloison.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de la victime qui avait ouvert sa lampe pour exa- miner l'exhaus- sion produite par un coup de mine.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

1. — Concession de la Grand'Combe (suite).

OBSERVATIONS.

11

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers du Poste de nuit avaient travaillé dans la galerie inférieure, à 3^m en arrière de la dernière remontée.

Au moment du changement de poste, deux explosions successives se produisirent à une seconde d'intervalle dans cette galerie de fond.

Les portes et les cloisons d'aérage furent détruites, des wagons brisés ou précipités dans le puits; la galerie inférieure s'éboula en différents points.

On ne put y arriver que douze heures après l'accident; l'un des ouvriers fut retrouvé près de la remontée, il était fortement brûlé; l'autre se trouvait à 125^m en arrière, son corps portait la trace de blessures graves, il avait dû être projeté avec violence; ses brûlures étaient légères.

Quatre ouvriers, qui arrivaient à leur travail, avaient été renversés dans la parallèle supérieure, à 100^m du puits; ils avaient pu s'échapper. Enfin, les gaz méphytiques aspirés par le ventilateur avaient asphyxié, dans la galerie des Trois-Mines, plusieurs ouvriers qui avaient été retirés et rappelés à la vie.

Remarques particulières. — La lampe de sûreté de l'ouvrier retrouvé près de la remontée était à moitié dévissée; des grains de charbon assez gros, découverts à l'intérieur, ont fait supposer que la lampe avait été ouverte au chantier, et que l'ouvrier avait été surpris par l'explosion au moment où il la refermait.

Le chantier avait été visité par le chef de poste trois heures avant l'accident. L'accumulation du grisou à l'extrémité de la galerie inférieure, n'a pu résulter que d'un dégagement anormal de gaz, ou d'un arrêt momentané de la ventilation, causé par l'ouverture d'une porte d'aérage.

Indications générales. — L'aérage était très bon dans la couche Airolle. Le chantier où l'accident s'est produit était aéré très convenablement au moyen d'une cloison et d'une porte d'aérage qui forçaient l'air à passer au front d'avancement.

La couche dégagéait peu de grisou et pendant longtemps on avait travaillé à feu nu dans les niveaux supérieurs.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient au percement d'une remontée de 15^m de longueur. Après leur repas, ils rentraient à leur travail; l'un d'eux s'approcha du front de taille, pour voir l'effet produit par un coup de mine; il introduisit sa lampe de sûreté détamisée dans la cavité résultant du tirage du coup de mine, et mit le feu à une petite quantité de gaz qui le brûla légèrement à la figure et aux épaules.

Remarques particulières. — La victime put refermer sa lampe avant de sortir du chantier, mais la présence, à l'intérieur de cette lampe, de fragments de charbon trop gros pour avoir pu traverser le treillis, n'a laissé aucun doute sur la cause de l'inflammation.

Après l'accident, il n'existait aucune trace de gaz au chantier; il n'y avait pas eu explosion, mais seulement inflammation de grisou.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS

a. — Groupe de la Grand'Combe

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
490	1875 13 Octobre	Puits du Gouffre. — Couche Pilhouse	»	1 Brûlé légerement.	213	61640 Tonnes.	Cul-de-sac de 2 ^m 50 de longueur, situé à la partie supérieure d'une taille, au point le plus élevé du courant d'air aérant cette taille. ? Dépression barométrique constatée avant l'accident	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de la victime qui avait détamisé sa lampe de sûreté.
491	1878 25 Janvier	Puits du Ravin. — Couche Grande-Beaume.	»	1 Brûlé grièvement.	258	74840	Cheminée de 6 ^m de longueur acérée au moyen d'un cloison arrivant à 2 ^m 50 du sommet.	Morceau de mèche allumé au treillis d'une lampe de sûreté pour mettre le feu à un coup de mine.	»

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

— 1^o Concession de la Grand'Combe (suite).

OBSERVATIONS.

41

Indications générales. — L'aérage du quartier de la couche Pilhouse était satisfaisant; l'air entrant par la galerie de La P'are, passait au front de taille des deux chantiers en activité et se réunissait au courant général des travaux du puits du Gouffre.

Ce dernier courant, déterminé par deux ventilateurs débitant 15 mètres cubes par seconde, était argement suffisant pour une mine de ventilation facile et produisant 200 à 220 tonnes par jour.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait dans une taille légèrement montante de la couche Pilhouse, au front de laquelle le courant d'air passait en descendant.

Dans le but de chercher un bois, il s'engagea avec sa lampe de sûreté détamisée dans un cul de sac de 2^m50 de longueur, formé par la taille précédente, à l'extrémité de la galerie par laquelle descendait le courant d'air, une explosion de grisou se produisit et le brûla légèrement.

Remarques particulières. — Le grisou ne s'était jamais montré qu'en très petite quantité dans la couche Pilhouse et depuis fort longtemps on n'avait pas signalé sa présence

Du 10 au 13 octobre, le baromètre était descendu de 744 à 733 millimètres, et le 14, la dépression atteignait 720 millimètres

Indications générales. — L'aérage était satisfaisant. Le courant d'air entrant par le puits du Ravin, suivait une marche constamment ascensionnelle. Sauf à son arrivée dans les premiers chantiers, et sortait par une galerie débouchant dans le ravin de la Tronche, galerie servant également de sortie d'air à deux courants aérant d'autres groupes de travaux.

Un ventilateur à force centrifuge, établi à l'entrée de la galerie, débitait 12 mètres cubes par seconde. Pour une production journalière de 80 tonnes, le volume d'air parcourant les travaux était de 4^m3,800 par seconde.

Circonstances de l'accident. — Du niveau de 150^m dans le banc inférieur de la couche Grand-Beaume, on peçait une cheminée verticale vers la couche sans désignation. Cette cheminée, prise tout à côté de la grande galerie du niveau de 150^m, avait atteint 6^m de hauteur; elle était divisée par une cloison en briques jusqu'à 2^m50 du sommet; une porte à guichet, établie dans le niveau, forçait une partie du courant d'air à passer à l'extrémité supérieure.

Les deux ouvriers chargés de l'avancement avaient trouvé un peu de grisou en arrivant au chantier. Ce gaz ne tarda pas à disparaître et les ouvriers percèrent deux trous de mine. Le chef de poste leur distribua la poudre nécessaire au chargement. Les coups de mine furent chargés et l'un des ouvriers resta seul au chantier pour les allumer. Il enflamma un morceau de mèche de sûreté au treillis de sa lampe et éleva la main pour mettre le feu à l'un des coups, placé en couronne. A ce moment une explosion de grisou se produisit et l'ouvrier fut grièvement brûlé.

Remarques particulières. — Le chef de poste, avant de distribuer la poudre, avait constaté que le grisou n'existait pas au chantier. Pendant le travail, les mouvements des ouvriers suffisaient probablement pour chasser le gaz, mais pendant que l'ouvrier resté seul prenait les dispositions nécessaires au tirage des coups de mine, le gaz se sera accumulé en petite quantité au sommet de la cheminée.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN D'ALAIS.

1. — Groupe de la Grand'Combe.

(Instituée par décret du

1 Nos d'ordre.	2 DATE de l'accident.	3 LIEU de l'accident.	4 NOMBRE d'ouvriers		6 OUVRIERS au fond.	7 PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			4 Tués.	5 Blessés.			Causés directes		10 Causés indirectes
							8 de l'accumulation du gaz.	9 de l'inflammation du gaz.	
492	1814 28 décembre.	Couche du Gardon.	1 Brûlé.	1 Brûlé grièvement.	60	7426	"	Lampe à feu nu.	Imprudence des victimes, qui avaient pénétré, malgré la défense du maître mineur, dans une galerie où le grisou avait été reconnu.
493	1826 2 octobre.	Couche N° 5 dite La Levade.	1 Brûlé.	1 Brûlé.	72	8658	Galerie inondée, dont les eaux s'étaient retirées depuis peu de temps.	Id.	Imprudence des deux victimes qui, malgré la défense du maître mineur, avaient débouché une galerie qui venait d'être inondée.
494	1851 25 juillet.	Puits du Ravin.	3 dont 2 asphyxiés et 1 noyé.	"	447	102630	Galerie de direction de 10 m. de longueur, en percement dans un puits et aérée naturellement au moyen de caisses. Temporaires. Dégagement, dans le puits, de grisou provenant de travaux inférieurs.	Lampe de sûreté ouverte.	Imprudence des victimes qui avaient allumé un coup de mine avec une lampe de sûreté détamisée.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

— 2° Concession de Trescol et Pluzor.

19 Mars 1782).

OBSERVATIONS.

11

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient allés chercher un outil dans une galerie en percement de la couche du Gardon, où le maître mineur avait reconnu du grisou, et dont il leur avait défendu l'entrée; ils déterminèrent une explosion avec leur lampe à feu nu et furent brûlés grièvement. Pour se rendre chez eux, ils marchèrent pendant une heure, par une nuit froide; l'un d'eux mourut le lendemain.

Circonstances de l'accident. — La couche N° 5, dite la Levade, avait été inondée pendant le mois de septembre; les eaux s'étaient retirées de la galerie d'écoulement: des ouvriers avaient été chargés de débayer cette galerie.

Deux d'entre eux, dans le but de travailler plus avantageusement pour l'entreprise, et malgré la défense du maître mineur, débouchèrent l'entrée d'une galerie latérale, nouvellement noyée et chargée de grisou; ils enflammèrent le gaz avec leurs lampes à feu nu et furent brûlés. L'un d'eux succomba des suites de ses brûlures.

Remarques particulières. — Le grisou ne s'était jamais montré dans cette partie de la mine avant l'inondation.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Un arrêté préfectoral du 14 octobre 1826 a prescrit l'emploi des lampes de sûreté dans la mine.

Indications générales. — Le puits du Ravin avait 133 mètres de profondeur; à 88 mètres, quelques travaux avaient été faits dans une couche grisouteuse; à 60 mètres, on avait établi un plancher et percé dans la couche d'Abylon une galerie de direction de 10 mètres de longueur.

Pour aérer les travaux inférieurs, on avait établi des caisses d'aérage dans le puits et un ventilateur à la surface. Un branchement avait été pris au niveau de la nouvelle galerie et était prolongé au fur et à mesure de l'avancement.

Depuis plus de quinze jours, l'aérage était très bon dans la galerie, à tel point qu'on avait cessé de faire fonctionner le ventilateur.

Circonstances de l'accident. — Au moment où trois ouvriers, travaillant dans la galerie de 60 mètres, mettaient le feu à un coup de mine, une explosion de grisou se produisit. La charpente des molettes fut brisée et projetée à distance, ainsi que la benne qui était à l'orifice du puits; les caisses d'aérage établies dans le puits furent démolies et le plancher précipité au fond du puits. On ne put arriver dans la galerie que le lendemain, on y retrouva les cadavres couverts de brûlures des deux ouvriers; le troisième, qui se trouvait sur le plancher au moment de l'accident, ne put être retiré du fond du puits que le jour suivant, il était également fortement brûlé.

Remarques particulières. — Un coup de mine préparé, dont la mèche souffrée n'avait brûlé qu'à moitié, et une lampe de sûreté retrouvée ouverte dans la galerie, ont fait supposer que l'explosion avait

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE
1. — BASSIN D'ALAIN
1. — Groupe de la Grand'Combe

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
4	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.			
495	1887 12 Janvier.	Mine du Ravin. — Couche Grand-Beaume — Banc inférieur.	.	2 Brûlés dont 1 très légèrement	1157	278730	Cloche au toit d'une galerie, communiquant par une fissure avec un coup de mine préparé au voisinage.	Mèche allumée d'un coup de mine.	.
496	I 3 Juillet.	Id. — Id. — Id	.	2 Brûlés.	Id.	Id.	Arrêt momentané de la ventilation, par suite de l'ouverture accidentelle d'une porte d'aérage.	Flamme d'un coup de mine.	Négligence d'un ouvrier qui avait laissé ouverte la porte d'aérage.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

— 2^o Concession de Trezol et Pluzor (suite).

OBSERVATIONS.

41

eu lieu au moment où l'un des ouvriers mettait le feu au coup de mine avec sa lampe, après en avoir enlevé le treillis.

Une heure avant l'accident, le maître mineur avait visité le chantier, il n'y avait pas trouvé de grisou; mais le temps s'étant mis à l'orage, l'aérage, qui se faisait naturellement, a pu devenir insuffisant, ce qui a permis au gaz de s'accumuler dans la galerie; ce gaz a pu d'ailleurs se dégager des travaux inférieurs, exécutés dans une couche très grisouteuse.

Le règlement de la mine défendait aux ouvriers de se servir de mèches souffrées pour allumer les coups de mine.

Mesures prises à la suite de l'accident. — On a barre les travaux inférieurs avant de continuer la galerie commencée à 60 mètres.

Indications générales. — L'air entrant par le puits du Ravin, et après un parcours d'environ 1,400 mètres, s'échappait par le puits Cessenat. Il était un peu chaud

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier, après avoir allumé un coup de mine au toit d'une galerie en percement, se réfugia avec un autre ouvrier, à quelques mètres en arrière, dans le courant d'air. Au bout de 10 minutes, une explosion de grisou se produisit sans avoir été précédée du départ du coup de mine.

L'un des ouvriers fut brûlé assez grièvement; l'autre vit la flamme, se jeta à terre et ne fut que légèrement atteint.

Remarques particulières. — On a reconnu après l'accident que le trou de mine communiquait par une fissure avec une cloche voisine existant au toit de la galerie. Quelques jours après l'accident, cette cloche était remplie de gaz; elle avait dû en contenir, mais en moindre quantité, au moment où l'accident s'est produit.

Circonstances de l'accident. — Dans un chantier en défilage du banc inférieur de la Grand-Beaume, on poussait l'avancement, en même temps qu'un retour d'air avec lequel il était mis en communication par des remontées établies en distance, dans lesquelles étaient établies des portes d'aérage.

Dans ce chantier travaillaient plusieurs ouvriers. L'un d'eux demanda au chef de poste une cartouche pour tirer un coup de mine; ce dernier, après avoir constaté l'absence du gaz, donna la cartouche et s'en alla. Quelques heures après, le feu fut mis au coup de mine. Une explosion de grisou se produisit. Les ouvriers s'étaient retirés près d'une remontée, la flamme parvint jusqu'à eux; deux d'entre eux furent brûlés, deux autres ne furent pas atteints. Ils purent se sauver dans la galerie de fond par une porte qui était ouverte.

L'explosion ne fut pas très forte.

Remarques particulières. — Par suite de l'ouverture plus ou moins prolongée de la porte d'aérage,

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.
1. — BASSIN D'ALAIS.
2. — Groupe de la Grand'Combe.

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.			
497	1874 30 Janvier.	Mine du Ravin. — Couche Grand-Beaume. — Banc inférieur.	1 Brûlé légerement.	1	1413	525185	Soufflard au toit d'une galerie de niveau, dans laquelle passait le courant d'air. Ralentissement de ce courant par suite de la fréquente ouverture des portes d'aérage, au moment de l'entrée du poste	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence des ouvriers qui avaient tiré un coup de mine bien qu'ils eussent reconnu la présence du grisou

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

2. — Concession de Trescol et Fluzor (suite).

OBSERVATIONS.

41

le grisou a dû s'accumuler dans le chantier; les ouvriers n'en ayant pas vu trace jusque là, rassurés d'ailleurs par la visite que venait de faire le chef de poste et par celle faite antérieurement par le maître-mineur, ne se sont probablement pas tenus en garde contre le dégagement possible du gaz.

Les ouvriers du chantier voisin, en venant au secours de leurs camarades, trouvèrent à terre, encore allumée, une lampe que ceux-ci avaient laissée en s'enfuyant

On n'a pu savoir qui avait ouvert la porte d'aérage

Indications générales. — Le courant d'air était suffisant et convenablement dirigé. Il entrait par le puits du Ravin, suivait le travers-bancs et la galerie de roulage. Ses différentes branches aéraient les dépillages; l'une d'elles arrivait aux avancements de la galerie de roulage et de la galerie conjuguée. Le courant sortait par une fessure du banc supérieur débouchant dans le ravin de la Tronche. À l'extrémité de laquelle était établi un ventilateur.

Circonstances de l'accident. — La galerie de roulage du banc inférieur de la couche Grand-Beaume et la galerie conjuguée avaient atteint 820^m à partir du travers-bancs du puits du Ravin. Près de l'extrémité de la galerie conjuguée, dans laquelle passait le courant d'air, on avait commencé une remontée dirigée vers un puits nouvellement foncé, dans le ravin de la Tronche.

Cette remontée n'avait encore que 3^m de longueur; les deux ouvriers qui y travaillaient y reconnurent un peu de grisou en arrivant au chantier; ils le dispersèrent en agitant l'air et préparèrent un coup de mine dans le niveau pour agrandir l'entrée de la remontée.

Après avoir allumé le coup de mine, ils s'éloignèrent de 15 à 20^m. Le coup déboussa et la flamme mit le feu au grisou accumulé au toit de la galerie; le gaz brûla quelques instants, puis une petite explosion se produisit. L'un des ouvriers fut légèrement brûlé; l'autre, qui s'était jeté à terre, ne fut pas atteint.

Remarques particulières. — La présence du grisou a été attribuée à un soufflard qu'on avait rencontré pendant le percement de la galerie conjuguée, au sol de cette galerie, près de l'entrée de la remontée. Le gaz aura pu s'accumuler grâce au ralentissement du courant d'air occasionné par la fréquente ouverture des portes d'aérage, au moment de l'entrée du poste.

Le chef de poste avait visité le chantier quelques heures avant l'accident, il n'y avait pas trouvé trace de gaz.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les avancements des galeries conjuguées et de la remontée ont été abandonnés; la communication avec le puits de la Tronche a dû être établie en descente, à partir de ce dernier puits.

A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIN

1. — Groupe de la Grand'Combe

N ^o d'ordre	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
498	1874 23 Mars.	Mine du Ravin. — Couche Grand-Beaume. — Banc inférieur.	»	1 Brûlé légèrement.	1443	525185 Tonnes.	Arrêt momentanément de la ventilation dans un chantier situé à l'avancement d'une remontée en percement, insuffisamment ventilée	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence de la victime qui avait mis le feu à un coup de mine, sans s'être préalablement assuré de l'absence de grisou dans le chantier.

3^o. — Concession

(Instituée par décret

499	1845 15 Juin	Mine de Thérond	»	2 assez grièvement.	?	»	»	Lampes à feu nu.	Imprudence des victimes qui avaient pénétré dans leur chantier avant qu'il eût été visité.
-----	-----------------	-----------------	---	------------------------	---	---	---	------------------	--

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

— 2^o Concession de Trescol et Pluzor (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'une des branches du courant d'air, entrant par le puits du Ravin, suivait le niveau le plus bas du banc inférieur de la Grand'Beaume, aérait les travaux en montant constamment, sans se diviser, et sortait par le puits Lagnette, sur lequel était établi un ventilateur.

Cette branche était plus que suffisante eu égard au peu d'étendue des travaux et les précautions étaient prises pour que l'air circulât dans tous les chantiers.

Circonstances de l'accident. — Une remontée en percement dans le ban inférieur de la couche Grand'Beaume avait 40^m de longueur et une pente moyenne de 1/20; elle était divisée par une cloison d'aéragé en briques arrivant à 4^m50 du front de taille.

Au moment où un ouvrier, travaillant à l'avancement venait d'allumer un coup de mine, une explosion de grisou se produisit et le brûla légèrement

Remarques particulières. — Le chantier avait été visité trois fois, dans la matinée, par le maître mineur et les chefs de poste; le grisou n'y avait pas été aperçu.

L'accident est arrivé au moment de l'arrêt quotidien du ventilateur pour le graissage de la machine; cet arrêt de dix minutes a été considéré comme l'une des causes de l'accumulation du grisou, dans un chantier où passait le courant d'air.

L'ouvrier a prétendu qu'il avait allumé le coup de mine avec de l'amadou et qu'au moment de l'accident, il avait fait une dizaine de pas pour s'éloigner; mais, comme sa lampe de sûreté n'était pas fermée à clef après l'explosion, on a supposé qu'il l'avait ouverte pour mettre le feu à la mèche

de Champclauson.

du 12 Novembre 1809).

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers voulant travailler le dimanche, qui était jour de paye, en avaient demandé l'autorisation au maître mineur. Ce dernier les avait engagés à attendre la fin de la visite des chantiers et l'expulsion du gaz, dont la présence avait été reconnue.

Pendant que le maître mineur était allé chercher les lampes de sûreté pour visiter les chantiers suspects, les deux ouvriers pénétrèrent dans la mine avec leurs lampes à feu nu. A peine étaient-ils arrivés dans les tailles ouvertes à l'avancement, dans une partie de la couche située au-delà d'un rejet, que le gaz s'enflamma et les brûla assez grièvement.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Tous les ouvriers, travaillant dans cette partie de la mine, ont été munis de lampes de sûreté.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS

1. — Groupe de la Grand'Combe.

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
500	1849 30 Juin.	Mine de Théroud.	1 Brûlé.	1 Brûlé.	287	47875 Tonnes.	Suspension de l'aérage dans une remontée, par suite de l'ouverture accidentelle d'une porte.	Lampe de sûreté inclinée dont le treillis avait rougi.	Imprudence de la principale victime, qui avait placé sa lampe dans une position inclinée.

4^o — Concession

(Instituée par décret

501	1847 28 Août.	Mine Roux.	»	3 Brûlés grièvement.	98	49948 Tonnes.	»	Lampe de sûreté dont le tamis était percé.	Négligence du lampiste qui avait remis à un ouvrier une lampe en mauvais état.
-----	------------------	------------	---	-------------------------	----	------------------	---	--	--

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

3^o Concession de Champclauson (suite).

229

OBSERVATIONS

41

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers remblayeurs travaillaient dans une remontée où passait le courant d'air. L'un d'eux avait posé sa lampe de sûreté sur des remblais sans avoir eu le soin de la placer verticale. Son camarade, voyant le treillis de cette lampe rougir, lui cria de l'éteindre; en même temps il se coucha à terre, en se couvrant la figure avec les mains. Le premier mineur ne put éteindre sa lampe avec assez de promptitude pour éviter l'explosion, qui eut lieu presque au même moment. Les deux ouvriers furent brûlés; le premier mourut quelques heures après l'accident.

Remarques particulières. — Les ouvriers, pour se rendre dans leurs chantiers, étaient obligés d'ouvrir une porte qui, placée dans la galerie de roulage, forçait l'air à passer par la remontée. Cette porte n'ayant pas été refermée, la ventilation avait été interrompue dans la remontée; ce qui avait permis l'accumulation d'une petite quantité de grisou, à laquelle la toile rougie de la lampe inclinée a mis le feu.

de La Levade et La Tronche.

du 19 Novembre 1809).

Indications générales. — L'aérage était insuffisant. La mine dégageait beaucoup de grisou.

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers travaillaient dans le chantier de la partie nord de la mine Roux. L'un d'eux, voulant reconnaître la quantité de grisou qui existait dans la taille, éleva sa lampe de sûreté à 4^m50 environ du sol. Une détonation eut lieu dans l'intérieur du tamis; comme il était déchiré à la couture, le feu se communiqua au dehors. Les trois mineurs furent grièvement brûlés.

Remarques particulières. — Un ouvrier spécial était chargé du service des lampes; il était tenu de les remettre en bon état aux ouvriers; ce que ceux-ci, le plus souvent, ne vérifiaient pas.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à faire recevoir les lampes de sûreté par le chef de poste de service, chaque fois que les ouvriers se rendraient à leur travail.

A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS

1. — Groupe de la Grand'Combe.

(Instituée par décret du

Nos d'ordre 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
502	1826 29 Juin.	?	1 Brûlé.	1 Brûlé.	12	1320	»	»	»
503	1851 9 Mai.	?	1 Brûlé.	»	30	5347	Galerie en per- cement insuffi- samment venti- lée.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de la victime qui avait détamisé sa lampe.
504	1852 21 Dé- cembre.	?	»	1 Brûlé.	28	6815	»	»	»

2. — Concession de

(Instituée par décret du

505	1846 12 No- vembre.	Couche de Ste- Barbe. — Niveau infé- rieur.	1 Brûlé.	1 Brûlé légère- ment.	185	46927	»	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime qui, malgré la défen- se, avait pénétré dans son chantier avec une lampe à feu nu.
-----	---------------------------	---	-------------	--------------------------------	-----	-------	---	--------------------	---

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

— 5^o Concession de St-Jean-de-Valerisclé.

12 Novembre 1809).

OBSERVATIONS.

11

Circonstances de l'accident. — Pas de détails.

Indications générales. — L'aérage était obtenu au moyen d'un foyer établi à la partie supérieure du puits. Il était insuffisant.

Le courant d'air était amené, par des cloisons, au front de taille de tous les chantiers ; malgré cela, le grison se montrait souvent en quantité dangereuse.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier avait pénétré, pour chercher un outil, dans une galerie en percement, voisine de celle où il travaillait. Sa lampe, dont il avait enlevé le treillis, détermina une explosion qui lui causa des brûlures mortelles.

Circonstances de l'accident. — Pas de détails.

Robiac et Meyrannes.

19 Novembre 1809).

Indications générales. — La couche Sainte-Barbe était la seule des mines de Bessèges qui eût quelques chantiers grisouteux. Les ouvriers étaient munis de lampes à feu nu, mais, dans certains cas, ils devaient visiter leurs chantiers avec des lampes de sûreté avant de se mettre au travail.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient occupés, dans un chantier de la couche Sainte-Barbe, à percer, au moyen d'une sonde, un trou de communication avec un autre chantier où du gaz s'était accumulé. Une fois le trou percé, les deux ouvriers s'étaient retirés, avec leurs lampes à feu nu.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIN

2. — Concession de

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.			
506	1855 17 Décembre.	Couche de Sainte-Barbe. — Niveau inférieur.	1 Brûlé.	2 Brûlés dont 1 grièvement.	531	421440	Chômage de 24 heures dans une remontée de 10 ^m de longueur aérée par diffusion	Lampe à feu nu	

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Robiac et Meyranmes (suite).

OBSERVATIONS.

11

dans une galerie inférieure, où ils devaient attendre que tout le gaz du chantier grisouteux se fut écoulé par le trou de sonde, dans la voie d'air supérieure.

L'un d'eux, impatient d'attendre trop longtemps, voulut, malgré les remontrances de son camarade, retourner dans son chantier avec sa lampe à feu nu. A peine y était-il arrivé qu'une explosion se produisit et le brûla grièvement. Il mourut deux jours après des suites de ses brûlures. Le deuxième ouvrier s'était tenu à l'écart et par mesure de précaution s'était jeté à terre ; il ne fut que légèrement brûlé.

Remarques particulières. — La principale victime aurait dû s'assurer, au moyen d'une lampe de sûreté, si l'atmosphère du chantier supérieur n'était plus explosible. Après l'accident, les galeries montantes de la couche ont été visitées et l'on n'a reconnu qu'une très petite quantité de gaz ; c'est à peine s'il marquait à la lampe ; il brûlait à mesure, sans s'accumuler.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à rendre obligatoire l'emploi des lampes de sûreté dans toutes les tailles ou galeries montantes de la couche Sainte-Barbe.

Les lampes de sûreté devaient être fermées de telle façon que les ouvriers ne pussent les ouvrir.

Indications générales. — Les ouvriers étaient munis de lampes ordinaires

Circonstances de l'accident. — On travaillait à une traverse destinée à mettre en communication avec une galerie d'aérage, une remontée de 10 mètres de longueur, ventilée seulement par diffusion.

Trois ouvriers se rendaient, le lundi matin, à leur travail dans cette remontée ; ils étaient munis de lampes à feu nu. L'un d'eux à peine avait-il fait quelques pas dans le chantier, qu'une explosion se produisit et le brûla légèrement. Les flammes, en s'étendant jusqu'à la galerie, brûlèrent grièvement les deux autres ouvriers, qui se trouvaient en arrière de leur camarade. L'un d'eux mourut des suites de ses brûlures.

Remarques particulières. — Le grisou ne s'était jamais montré dans cette partie des travaux de la couche de Sainte-Barbe.

Le samedi soir, en quittant leur chantier, les ouvriers n'avaient rien observé qui indiquât la présence du grisou.

Deux jours après l'accident, aucune trace de grisou n'apparaissait plus dans le chantier.

L'avancement de la galerie voisine de la remontée où a eu lieu l'accident, se trouvait dans une partie dérangée de la couche où le charbon devenait de plus en plus schisteux. Un soufflard aura pris jour dans cette masse et aura rempli de gaz la remontée pendant le chômage du dimanche.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les ouvriers qui travaillaient dans cette partie de la mine ont été munis aussitôt de lampes de sûreté.

Les exploitants ont été invités à faire procéder, tous les lundis matin, deux heures avant le commencement du travail, à une visite des chantiers par un maître-mineur muni d'une lampe de sûreté ; si la moindre trace de gaz était reconnue, on ne devait laisser travailler les ouvriers qu'avec des lampes de sûreté.

Enfin dans les chantiers où quelques indices de gaz se seraient manifestés, il ne devait être permis de travailler avec des lampes ordinaires que dans les galeries de niveau ou en descente.

STATISTIQUE DES
A. -- MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN D'ALAIS.

2. — Concession de

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
507	1858 1 ^{er} Fé- vrier.	Mine du Créal.	1	1	769	169840	Suspension du travail pendant le chômage du Dimanche, dans une galerie en percement tracée en dos d'âne.	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime, qui, malgré la défense, avait emporté une lampe à feu nu pour faire la visite des chantiers.
508	1861 22 Juillet.	Puits Gran- gier.	3	3	4100	298858	Quartier barré envahi par le grisou et abandonné, puis rouvert de nouveau.	Flamme chassée, par suite d'un mouvement trop brusque, hors du tamis d'une lampe de sûreté dont la toile avait rougi.	Imprudence du chef de poste qui avait fait descendre les ouvriers dans des chantiers où la présence du grisou avait été constatée, et qu'il aurait dû préalablement visiter avec une lampe de sûreté.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Robiac et Meyrannes (suite).

OBSERVATIONS.

41

Indications générales. — Un ouvrier était chargé de faire, tous les lundis matins, avec une lampe Mueseler, la visite d'une partie de la mine; il devait se faire accompagner d'un ouvrier.

Circonstances de l'accident. — Une galerie en percement, partant du puits, montait d'abord fortement sur une longueur de 80 à 100^m, puis descendait ensuite assez rapidement.

Le lundi matin, jour de l'accident, l'ouvrier chargé de la visite hebdomadaire des chantiers avait pris en outre de sa lampe Mueseler, une lampe à feu nu. Arrivé au point culminant de la galerie, il posa à terre sa lampe ordinaire et continua à s'avancer avec la lampe de sûreté. Celle-ci s'étant éteinte, il revenait sur ses pas, lorsqu'une explosion se produisit et le brûla grièvement.

Remarques particulières. — La galerie était divisée en deux parties par une cloison en planches, dont les joints étaient bouchés avec de l'argile, afin de forcer l'air entrant par le puits à arriver jusqu'au front de taille.

Indications générales. — L'air entrant par le puits Grangier, aérait les galeries inférieures du quartier de droite, se rendait dans le quartier de gauche et sortait par la descenderie des ouvriers, placée entre les deux chantiers.

Circonstances de l'accident. — Deux portes d'aéragé qui devaient forcer l'air à passer dans les galeries supérieures du quartier de droite, n'étant pas établies, ces galeries étaient pleines de grisou. L'abondance des eaux et du grisou avaient fait suspendre les travaux du quartier de droite. Ce quartier avait été fermé par deux barrages en maçonnerie. Toutefois, le gaz filtrant à travers les maçonneries, de manière à inquiéter le travail dans un atelier voisin, on démolit ces barrages et l'on se mit en mesure de forcer le courant d'air à passer en entier pour l'assainir dans le quartier abandonné. Cette opération touchait à sa fin.

Après un jour de chômage, le chef de poste avait fait descendre dans la mine les ouvriers, sans avoir, au préalable, pris la précaution d'en faire la visite avec une lampe de sûreté.

Deux boiseurs étaient occupés à terminer une porte d'aéragé qui devait forcer l'air du quartier de droite à se rendre dans le quartier de gauche. Le chef de poste, après avoir donné l'ordre de jeter une benne d'eau dans le puits pour activer le courant d'air, s'était rendu auprès de deux ouvriers. L'un d'eux lui ayant fait remarquer que sa lampe rougissait, le chef de poste la saisit vivement pour la reculer; mais au même moment, une explosion se produisit.

Le chef de poste et les deux mineurs furent mortellement brûlés; trois rouleurs, qui travaillaient dans la descente au bas de laquelle on établissait la porte, furent renversés et l'un d'eux brûlé légèrement. La porte fut mise en pièces.

Deux ouvriers qui étaient occupés dans le quartier de gauche, à peu de distance du lieu de l'accident, eurent également des brûlures légères.

L'explosion ne se fit sentir que par un léger contre coup dans le quartier de gauche, ou une trentaine d'ouvriers étaient occupés.

Remarques particulières. — Le chef de poste savait que le grisou existait dans certains chantiers,

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIN

2. — Concession de

Nos d'ordre 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS an fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
						Tonnes.			
509	1888 29 Octo- bre.	Mine de Mo- lières. — Puits d'Etam- pes. — Couche Saint- Louis.	»	3 Brûlés griève- ment.	1279	321690	Suspension du travail, pendant une heure, au front d'une taille montante où pas- sait le courant d'air.	Lampe de sûreté dont le treillis était percé.	Imprudence des victimes qui étaient rentrés dans leur chan- tier avec une lampe de sûreté en mauvais état.
510	1889 16 Mars.	Mine de Créal. — Couche Saint- Denis.	»	1 Brûlé assez griève- ment.	1077	330830	Remontée en cul-de-sac insuf- fisamment aérée par un courant obligé, en outre, de suivre une marche descen- dante.	Emploi d'allumettes pour rallumer une lampe de sûreté	Double impru- dence de la vic- time qui, malgré la défense, avait continué à tra- vailler dans un chantier grisou- teux et avait essayé de rallu- mer sa lampe avec une allumette.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Robiac et Meyrannes (suite).

OBSERVATIONS.

11

puisque sa lampe s'était éteinte l'avant veille. Il aurait dû en prévenir ses chefs et attendre, pour faire descendre les ouvriers, que l'aérage eut été complètement assuré.
En enlevant brusquement sa lampe, qui rougissait, il a dû faire sortir la flamme hors du treillis et communiquer le feu au grisou qui avait été déplacé par suite de la chute de la benne d'eau dans le puits.

Indications générales. — L'aérage, obtenu au moyen d'un ventilateur, se faisait partout très régulièrement ; mais le courant d'air n'avait pas une grande vitesse.

L'air entrant par le puits d'Etampes, se partageait entre les trois couches exploitées et sortait par une galerie de niveau.

Dans la couche Saint-Louis, l'aérage était d'autant meilleur que les travaux y étaient peu développés et que le trajet de l'air était exempt de sinuosités.

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers de la couche Saint-Louis, rentraient à leur chantier dans une taille montante après avoir pris leur repas, ; celui qui marchait en avant portait une lampe au tamis de laquelle il avait fait, probablement avec un pic, un trou de 8 millimètres de diamètre. Une explosion se produisit et les trois ouvriers furent grièvement brûlés.

Remarques particulières. — Quelques heures avant l'accident, le maître-mineur avait fait la visite des chantiers sans y constater la présence du gaz. Les deux compagnons de l'accident n'ignoraient pas que le tamis de sa lampe était troué.

Indications générales. — L'aérage général était excellent.

Circonstances de l'accident. — Une remontée en percement avait atteint 9^m de longueur ; comme l'aérage par tuyau était insuffisant pour balayer le grisou du front de taille, on avait percé un trou de sonde de 0^m03 de diamètre à travers le stock, d'un mètre d'épaisseur environ, qui restait encore à enlever pour rejoindre le niveau d'air supérieur.

Le maître-mineur avait donné l'ordre d'achever le percement par le haut. Malgré cela, l'un des ouvriers voulut reprendre le travail par la partie inférieure. Sa lampe de sûreté s'étant éteinte par suite de la présence du grisou, il la dévissa et voulut la rallumer avec une allumette, ce qui était absolument interdit. Le gaz prit feu. Le mineur, craignant que la flamme ne vint de son côté, s'empressa de fuir ; mais son mouvement ramena sur lui la flamme, qui lui fit des brûlures assez graves.

Remarques particulières. — La remontée était aérée par un tuyau en tôle détournant une faible partie du courant et venant déboucher près du front de taille.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS

2. — Concession de

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
511	1873 12 Février.	Puits Grangier. — Petite Couche Saint-Auguste.	»	1 Brûlé légèrement.	1179	352535 Tonnes.	Trouble momentané apporté dans la ventilation d'une galerie en cul-de-sac, en demi pente, par l'ouverture plus ou moins prolongée d'une porte d'aérage.	Lampe de sûreté dont le treillis s'était détaché de la cage à la partie inférieure.	Imprudence de la victime qui s'était servie, sans l'examiner, d'une lampe de sûreté en mauvais état.
512	1878 17 Décembre.	Puits de Robiac. — Couche Saint-Auguste	»	1 Brûlé légèrement.	1653	400020	Surélévation du toit déterminée à l'avancement d'un niveau en percement, par un renflement de la couche.	?	Imprudence des deux ouvriers qui, contrairement au règlement, avaient continué leur travail malgré la présence du grisou.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Robiac et Meyranes (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — Les travaux de la couche St-Auguste étaient convenablement aérés par l'une des branches du courant d'air entrant par le puits Grangier et sortant par une galerie à l'extrémité de laquelle était établi un ventilateur Guibal.

Le courant d'air passait au front de taille de tous les chantiers; sa marche était constamment ascendante, sauf dans les galeries dont l'avancement n'avait pas encore atteint 15^m

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier arrivait à son travail à l'avancement d'une galerie en demi-pente, en percement. En élevant sa lampe de sûreté dans l'angle le plus haut du front de taille, il enflamma une petite quantité de grisou et fut brûlé légèrement.

Remarques particulières. — La galerie où a eu lieu l'accident était divisée en deux parties par un cloison d'aérage arrivant à 3^m du front de taille.]

La présence du grisou a été attribuée à l'ouverture plus ou moins prolongée de l'une des portes d'aérage qui forçaient l'air à entrer dans les chantiers.

La lampe de sûreté de la victime était en mauvais état; la partie inférieure du treillis était détachée de la cage.

Indications générales. — Les conditions de l'aérage étaient satisfaisantes.

L'air arrivait du puits de Robiac et suivait le niveau inférieur; arrêté par une porte établie avant la dernière remonte, il passait dans une colonne de tuyaux de 0^m25 de diamètre qui le conduisait au front de taille; il revenait en arrière, gagnait le niveau supérieur par la remontée, arrivait au front de taille de ce niveau par l'un des compartiments, revenait par l'autre et s'élevait par une remontée au second étage, d'où il se rendait au ventilateur.

Circonstances de l'accident. — Deux niveaux conjugués étaient en percement au 3^e étage du puits de Robiac dans la couche St-Auguste. Le niveau inférieur avait été prolongé de 20^m au-delà de la dernière remontée; le niveau supérieur de 15^m seulement.

Deux ouvriers étaient occupés à l'avancement de ce dernier niveau dans lequel une cloison d'aérage avait été établie jusqu'à 0^m80 du front de taille.

En rentrant au chantier après avoir pris son repas et avant de tirer un coup de mine, l'un des ouvriers visita le front de taille avec sa lampe Mueseler; celle-ci s'étant éteinte, il alla la rallumer, rentra au chantier, accrocha sa lampe à la cloison d'aérage, et se mit à agiter l'air avec son gilet pour chasser le grisou.

Pendant cette opération, une petite quantité de gaz s'enflamma et le brûla légèrement.

Son compagnon, placé à 5^m en arrière, aperçut à peine la flamme et n'entendit aucune explosion

Remarques particulières. — L'accumulation du grisou au front de taille avait été favorisée par une surélévation du toit, correspondant à un renflement de la couche que l'on traversait.

Le maître-mineur avait visité le chantier quelques heures avant l'accident et n'avait pas trouvé de trace de gaz.

On n'a pu savoir quelle avait été la cause de l'inflammation du gaz.

Les deux ouvriers, sachant que le grisou existait dans leur chantier, auraient dû cesser leur travail et rendre compte du fait à leurs chefs, ainsi que le prescrivait les règlements de la mine.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE
1. — BASSIN D'ALAIN
3. — Concession de
(Instituée par décret de

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes directes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	
513	1855 3 Novembre.	Mine de Palmesalade.	»	1	197	24836	Suspension du travail, pendant un chômage de deux jours, dans une cheminée en percement.	Lampe à feu nu.	»
514	1862 12 Mars.	?	»	1	945	240640	?	?	»
515	1865 7 Septembre.	?	»	1	539	295890	?	?	»
516	1871 21 Février.	Mine Sainte-Hélène.	1	»	652	449426	Interruption momentanée du travail dans une remontée de 2 ^m de longueur, en cul-de-sac, aérée seulement par diffusion.	Lampe de sûreté dont le treillis était percé	Maladresse ou imprudence de la victime, qui avait, soit débarrassé sa lampe, soit fait usage d'une lampe en mauvais état

3. — GROUPE DU GARD,
a. — Département du Gard.
Treylys et Palmesalade.
du 27 août 1828).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — Le grisou ne s'était jamais montré dans la mine. On y employait exclusivement des lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Après deux jours de chômage, un ouvrier se rendant à son chantier, fut brûlé légèrement par une petite quantité de grisou qui avait pris feu sur sa lampe.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Un arrêté préfectoral du 17 novembre 1856 a prescrit la fermeture efficace de la remontée qui avait été abandonnée après l'accident, et la visite des chantiers avec une lampe de sûreté avant l'entrée des ouvriers.

Pas de détails.

Pas de détails.

Indications générales. — Le courant d'air s'établissait naturellement, entre des galeries dont les orifices présentaient une différence de niveaux de 92^m.

L'aérage général était satisfaisant et la ventilation suffisante dans tous les chantiers.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait au percement d'une remontée de 2^m de longueur, ouverte dans un niveau où passait le courant d'air. Au moment où, ayant fini son repas, il venait de rentrer dans son chantier, une explosion de grisou se produisit et lui causa des brûlures mortelles.

Remarques particulières. — La lampe de la victime avait le treillis percé d'un trou de 8 millimètres sur 12, déterminé par un coup de pic. On n'a pu savoir si ce trou avait été fait au moment même de l'accident, ou à une date antérieure.

La couche n'étant inclinée que de 30° environ, il n'eut pas été beaucoup plus dispendieux de percer la galerie en descendant.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIN

3. — Concession de

N ^o s d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
517	1871 5 Avril	Mine St-Jules.		1 Brûlé légèrement.	652	449426	Cloche produite par un éboulement au toit et près du front de taille d'un travers-bancs en per- ement, aéré seu- lement par diffu- sion.	Lampe à feu nu	Imprudence de la victime qui, malgré la défense, était rentrée dans un chantier sus- pect avec une lampe à feu nu et l'avait même in- troduite dans une cloche du toit.
518	Id. 13 Juin.	Mine Brous- soux. — Couches du système inférieur de la Grand- Combe. — Affleure- ment.		2 Brûlés légèrement.	Id.	Id.	Abandon depuis une demi-journée d'un chantier en remonte, aéré seulement par dif- fusion. ? Temps lourd et orageux.	Id.	Mauvaise direc- tion des travaux d'exploitation. Imprudence et infraction coupable aux ordres res- sus, de la part d'une des victimes qui avait pénétré dans le chantier avec une lampe ordinaire, avant d'en avoir fait l'inspection à la lampe de sûreté.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD

a. — Département du Gard.

Trélys et Palmesalade (suite)

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage se faisait naturellement et d'une manière satisfaisante entre des galeries dont les orifices présentaient une différence de niveau de 140^m

Circonstances de l'accident. — Un travers-bancs percé dans la galerie de roulage de la mine Saint-Jules avait atteint 70^m de longueur. En arrivant à son travail, un des ouvriers occupés à l'avancement avait, avec sa lampe à feu nu, déterminé l'inflammation d'une très petite quantité de grisou accumulée, au toit du chantier, dans une petite cloche produite par un éboulement des schistes charbonneux que la galerie traversait en cet endroit.

Le maître mineur ayant appris ce fait, avait recommandé aux ouvriers de se servir de lampes de sûreté pour rentrer à leur chantier, après toute interruption de travail.

Néanmoins, après avoir pris son repas, le chef de chantier se rendit au front de taille avec une lampe à feu nu et éleva même cette lampe dans la cloche pour montrer aux autres ouvriers restés à quelques mètres en arrière qu'elle ne contenait pas de gaz. Une nouvelle inflammation se produisit et lui causa des brûlures légères.

Les autres ouvriers ne furent pas atteints.

Remarques particulières. — Le travers-bancs n'était aéré que par diffusion.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont prescrit d'employer des lampes de sûreté dans le niveau où avait eu lieu l'accident, jusqu'à ce que la partie de la galerie comprise dans les schistes charbonneux eut été murallée.

Indications générales. — L'aérage naturel était très-actif dans l'amont pendage de la couche; mais l'aval pendage n'était aéré que par diffusion.

Le charbon était maigre et dégageait peu de grisou. Les ouvriers, au nombre de cinq seulement, qui étaient occupés dans cette partie de la mine, travaillaient seulement le jour et avec des lampes à feu nu.

Un ouvrier était spécialement chargé de faire le matin, avant l'entrée au chantier, la visite de celui-ci avec une lampe de sûreté.

Circonstances de l'accident. — Dans l'aval pendage de la galerie de roulages, on défilait, en remontant, un massif voisin d'un dérangement. Trois ouvriers entrant dans leur chantier, le grisou prit feu sur leurs lampes. Il n'y eut pas d'explosion; la flamme se dirigea le long du front de taille pour s'échapper par la traverse voisine. Un des ouvriers put l'éviter; les deux autres furent brûlés légèrement.

Remarques particulières. — L'ouvrier chargé de la visite du chantier, y avait pénétré avec deux de ses camarades, sans l'avoir inspecté préalablement comme il devait le faire, avec une lampe de sûreté.

On a attribué au temps lourd et orageux qui régnait le jour de l'accident, une influence sur le dégagement du grisou.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Des poursuites judiciaires ont été demandées contre les exploitants et contre l'ouvrier coupable.

Un arrêté du 28 juin du Préfet du Gard a rendu obligatoire dans la mine de Brousoux l'emploi des lampes de sûreté.

Les exploitants ont été invités à fournir un projet d'organisation de l'aérage.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN D'ALAIN
3. — Concession de

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
4	2	3	4	5	6	7	8	9	10
519	1873 2 Avril.	Couche Sainte-Barbe. — Banc supérieur.	»	1 Brûlé légèrement.	600	213930	Galerie en cul-de-sac aérée seulement par diffusion.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de la victime qui, malgré la défense, avait ouvert sa lampe.
520	1874 20 Janvier.	Mine de Tréllys. — Couche Saint-Auguste. — Niveau Saint-Jules.	»	1 Brûlé assez grièvement.	4005	493690	? Léger soufflard ouvert par le tirage de coups de mine, dans une partie de la couche qui était dérangée. Accumulation du gaz pendant une interruption de travail dans une galerie en percement.	Lampe à feu nu.	Cause fortuite.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Tréllys et Palmesalade (suite).

OBSERVATIONS.

41

Indications générales. — L'aérage général était suffisant.

Le grisou n'avait jamais été rencontré dans la couche Sainte-Barbe. Toutefois, comme ce gaz se montrait dans la concession voisine, on avait, par précaution, muni de lampes de sûreté, les ouvriers qui travaillaient dans la première mine.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient occupés à percer une galerie destinée à améliorer l'aérage du banc supérieur de la couche Sainte-Barbe. Deux heures environ après avoir tiré un coup de mine, l'un d'eux entra à l'avancement de la galerie avec sa lampe détamisée et provoqua l'inflammation de la petite quantité de gaz qui s'y était accumulée. Il fut brûlé légèrement.

Remarques particulières. — Temporairement les chantiers du banc-supérieur de la couche Sainte-Barbe, dans le voisinage du lieu de l'accident, n'étaient aérés que par diffusion.

Il était expressément défendu aux ouvriers d'ouvrir leurs lampes de sûreté.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Des poursuites judiciaires ont été exercées contre la victime, seule responsable de l'accident.

Indications générales. — L'aérage naturel était déterminé par une dénivellation de 96^m entre les orifices d'entrée et de sortie de l'air.

La présence du grisou n'avait jusque là été constatée que dans les couches Felgas et Sainte-Barbe, les seules de la concession de Tréllys, dans lesquelles on employait des lampes de sûreté.

Circonstances de l'accident. — On reprenait, après un mois d'abandon, le percement d'une galerie de tracage, au voisinage d'un petit dérangement qu'elle avait rencontré. Après avoir tiré deux coups de mine dans la matinée, l'un des ouvriers occupés à ce chantier y rentrait après son dîner. Une petite quantité de grisou qui s'y était accumulée, à cause de la faible hauteur du chantier, s'enflamma sur sa lampe à feu nu et le brûla assez grièvement.

Il n'y eut pas d'explosion proprement dite. L'inflammation ne se communiqua ni à deux cartouches de poudre que portait la victime dans la poche de son pantalon, ni à un petit sac renfermant de la poudre et des étoupilles qui était suspendu au haut de la paroi de la galerie, à 3 ou 4 mètres du front de taille.

Remarques particulières. — Le chantier de l'accident, barré et abandonné pendant trois jours, n'a pas présenté au bout de ce temps la moindre trace de grisou, non plus que les remontées voisines ou les autres avancements.

La présence d'une aussi petite quantité de gaz a paru tout à fait accidentelle; elle a été attribuée au voisinage du dérangement et à l'existence d'un petit soufflard, qui aurait été ouvert par les coups de mine tirés dans la matinée, et qui se serait vidé dans la galerie pendant l'interruption du travail.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Un arrêté préfectoral a prescrit l'emploi exclusif de la lampe de sûreté dans les ateliers du niveau Saint-Jules et dans les chantiers qui, par la suite, pourraient être ouverts au-dessous.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS.

3. — Concession de

N ^o d'ordre 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS an fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
521	1875 15 Jan- vier.	Mine de Tréllys. — Couche St-Augustin. — Niveau St-Jules	1 Brûlé.	2 Brûlés griève- ment.	?	?	Poussières fines de charbon sou- levées dans un chantier de dépi- lage par l'explo- sion d'un coup de mine.	Flamme d'un coup de mine qui avait débouillé.	»
522	1877 Mars.	Id.	»	»	800	187060	Poussières fines de charbon pro- duites par la per- foration mécani- que dans un tra- vers-bancs recou- pant une couche de houille.	Flamme d'un coup de mine.	»
523	1878 7 No- vembre.	Couche N ^o 1. — Galerie de l'Ouest.	1 Brûlé.	2 dont 1 Brûlé et 1 contu- sionné.	1420	399650	Réouverture d'un quartier abandonné.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence d'un chef de poste qui, malgré les ordres reçus, n'était pas sorti de la mine avec ses deux aides au moment indiqué. Imprudence de l'un des ouvriers qui, contraire- ment au règle- ment, avait déla- més sa lampe de sûreté.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Tréllys et Palmesalade (suite).

OBSERVATIONS.
41
<p>Indications générales. — L'aérage était bon dans le voisinage du chantier</p> <p>Circumstances de l'accident. — Trois ouvriers travaillaient dans un chantier de défilage voisin de l'affaissement de la couche et donnant dans une galerie parfaitement aérée.</p> <p>Un coup de mine, chargé de trois cartouches, avait été allumé et les ouvriers s'étaient retirés dans une traverse, à 20^m de leur chantier. Le coup partit en débouillant; deux cartouches seulement firent explosion; la troisième, projetée hors du trou de mine, vint tomber enflammée auprès des ouvriers, qui furent grièvement brûlés. L'un d'eux succomba au bout de quelques jours.</p> <p>Remarques particulières. — Des grains de coke ont été trouvés après l'explosion sur les parois de la galerie.</p> <p>L'accident a été attribué à l'inflammation des poussières de charbon soulevées par l'explosion des deux premières cartouches</p>
<p>Circumstances de l'accident. — Le travers-bancs St-Hippolyte avait recoupé la couche St-Auguste que l'on suivait en direction. Le travail se faisait au moyen d'un perforateur mécanique. Au moment du tirage d'un coup de mine, les ouvriers qui s'étaient retirés à 400^m environ, aperçurent une flamme rouge qui remplissait la galerie tout entière. Quelques-uns furent renversés et leurs lampes s'éteignirent. Personne n'eut aucun mal.</p> <p>Remarques particulières. — Des grains de coke déposés sur les parois de la galerie ont fait supposer que l'accident était dû à l'inflammation des poussières de houille que le forage mécanique avait produites en quantité considérable dans la galerie.</p>
<p>Indications générales. — L'aérage se faisait naturellement entre les galeries St-Félix et de l'Ouest et une troisième galerie débouchant au jour.</p> <p>Le courant d'air se renversait en été et son activité était alors assez faible.</p> <p>L'emploi des lampes de sûreté était généralisé depuis longtemps dans cette partie des travaux. Il était formellement interdit aux ouvriers d'ouvrir leurs lampes.</p> <p>Circumstances de l'accident. — On exploitait les couches N^o 1 et N^o 2 à l'aide de deux galeries de roulage débouchant au jour: la galerie de l'Ouest et la galerie St-Félix.</p> <p>La galerie de l'Ouest était en communication, par une cheminée inclinée, avec un quartier de la couche N^o 4 situé à un niveau inférieur; ce quartier avait été abandonné et barré ainsi que la cheminée, au commencement de l'été, à cause du peu d'activité du courant d'air.</p> <p>On voulait reprendre l'exploitation de ce quartier. Le 6 novembre, le barrage de la cheminée avait été percé et le courant d'air rétabli dans une partie des travaux; le 7, une porte d'aérage devait être fermée au moment où les ouvriers allaient prendre leur repas, afin de forcer l'air à parcourir le reste des travaux et à balayer, avant la rentrée des mineurs, le grisou qui pouvait s'y trouver.</p> <p>Les ouvriers avaient été invités à sortir de la mine à une heure indiquée. Dans la galerie de l'Ouest,</p>

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS.

3. — Concession de

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.			
524	1880 5 Avril.	Couche du Feljas N° 1. — Galerie Saint-Hippolyte.	4 dont 3 brûlés et 1 asphyxié.	1 Brûlé grièvement.	760	182463	Suspension du travail pendant la durée d'un repas, dans une remontée en cul-de-sac non aérée. Déplacement du gaz par un ventilateur à bras, établi au pied de la galerie, en dehors du courant d'air principal.	Lampe Davy placée dans un courant d'air assez rapide et chargé de grisou.	

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Trélys et Palmesalade (suite).

OBSERVATIONS.

11

travaillaient un maître rouleur et ses deux aides; malgré une seconde recommandation faite au maître rouleur quelques minutes avant la fermeture de la porte, ces trois ouvriers s'attardèrent. Quand ils se disposèrent à sortir, la porte était déjà fermée et le courant d'air arrivant par la cheminée, suivait la galerie de roulage.

Au moment où l'un des ouvriers arrivait près de la cheminée, avec sa lampe de sûreté détamisée, une explosion se produisit; cet ouvrier fut mortellement brûlé; le second ouvrier, qui le suivait de près, fut brûlé grièvement; quant au maître rouleur, qui avait déjà dépassé la cheminée, il fut seulement contusionné.

Remarques particulières. — L'ingénieur de la mine, le maître-mineur et le chef de poste auraient dû s'assurer qu'il n'y avait plus personne dans la mine, avant de faire rétablir le courant d'air. Cette opération eut pu d'ailleurs être faite sans danger un jour de chômage.

Mesures prises à la suite de l'accident — Un arrêté préfectoral du 19 novembre 1878 a prescrit l'emploi des lampes de sûreté dans la mine de Trélys, et en général dans toutes les mines de la rive gauche du Rioussat.

Les exploitants de la mine de Trélys ont été invités à soumettre leurs règlements intérieurs à l'approbation préfectorale.

Indications générales. — L'aérage général était suffisant.

Les surveillants et chefs de poste étaient tenus de ventiler eux-mêmes ou de faire ventiler sous leur responsabilité, les chantiers, avant chaque reprise du travail.

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers étaient occupés au percement d'une remontée de 15^m, ouverte dans un niveau à l'avancement duquel travaillaient deux autres ouvriers.

Au moment de reprendre leur travail après le repas de midi, les premiers se mirent en devoir de tourner le ventilateur qui était établi au pied de la remontée et servait à l'aérer. Ils voulaient en chasser le grisou avant d'y pénétrer.

L'un d'eux avait accroché sa lampe Davy au-dessus du ventilateur, dans le courant de retour, afin d'en observer la flamme et de constater, par la disparition de l'aurole, l'expulsion complète du grisou. Mais celui-ci ayant pris feu; les cinq ouvriers furent grièvement atteints. Trois furent retrouvés morts, dont l'un asphyxié; le quatrième succomba quelque temps après aux suites de ses brûlures, le cinquième seul survécut.

Remarques particulières. — Le courant d'air principal passait à 40^m de l'avancement du niveau, qui ne se trouvait ainsi aéré que par diffusion, et à 30^m de l'ouverture de la remontée.

Cette dernière, qu'on savait très grisouteuse, était aérée au moyen d'une colonne de tuyaux qui débouchait près du front de taille et d'un ventilateur à bras établi au pied dans le niveau.

Ce ventilateur était mal placé, privé de communication directe avec le courant général d'aérage, il ne faisait que brasser sur place le grisou.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIN

3. — Concession de

N ^{os} d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT			
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes directes.	
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
						Tonnes.				
4. — Concession (Instituée par décret										
525	1853 27 Juin.	Mine Werbrouck.	»	1 Brûlé assez grièvement.	?	?	Interruption de travail, pendant la journée du Dimanche, dans une galerie en cul-de-sac aérée seulement par diffusion	Lampe à feu nu.	»	
526	Id. 13 Décembre.	Id.	»	1	?	?	»	»	»	
527	1854 6 Février.	Mine Canal.	2	»	?	?	»	»	»	

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Trélys et Palmesalade (suite).

OBSERVATIONS.

11

Les cinq lampes ont été retrouvées en parfait état et fermées à clef. L'inflammation n'a pas dû se propager au-delà de la remontée, car une boîte de cartouches de dynamite, placée à quelques mètres du pied de cette galerie est restée intacte, de même que le ventilateur et la colonne de tuyaux.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été avertis des déficiences que présentait leur mode d'aérage, ainsi que des dangers inhérents à l'emploi de lampes à simple treillis dans des courants animés d'une certaine vitesse.

de Portes et Sénéchas.

du 19 Octobre 1784.)

Indications générales. — Le grisou ne se rencontrait dans la mine Werbrouck qu'en quantité insignifiante. On y travaillait à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier se rendant à son travail, le lundi matin, était allé chercher, dans une petite traverse, un outil qu'il y avait laissé. Sa lampe ayant communiqué le feu au grisou, il fut brûlé assez grièvement.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Un arrêté préfectoral du 16 novembre 1853 a prescrit la visite de tous les chantiers de la mine Werbrouck chaque lundi matin, avant l'arrivée des ouvriers, par un maître-mineur accompagné d'un chef de poste.

Circonstances de l'accident. — Pas de détails.

Circonstances de l'accident. — Pas de détails.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN D'ALAIS.

4. — Concession de

N ^o d'ordre	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
528	1854 2 No- vembre.	Mine Marie- Louise.	1	»	?	Tonnes. ?	»	»	»
529	1855 14 Fé- vrier.	Id.	»	1	?	?	»	»	»
530	1856 1 ^{er} Juin.	Id.	»	2 dont 1 grièvement.	?	?	Chômage dans une remontée aé- rée par diffusion.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence des victimes qui, mal- gré la défense, avaient allumé des coups de mi- ne.
531	Id 26 Août.	Plan N ^o 1.	»	1	?	?	»	»	»

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Portes et Sénéchas (suite)

OBSERVATIONS.
11
Circonstances de l'accident. — Pas de détails.
Circonstances de l'accident. — Pas de détails.
<p>Indications générales. — La mine Marie-Louise se composait d'une grande galerie de niveau et de plusieurs remontées, menées, de 20^m en 20^m, suivant l'inclinaison du gîte.</p> <p>L'air était très vif dans la galerie de niveau, mais peu actif dans les remontées ; dans l'une d'elles on avait établi un ventilateur qui puisait l'air dans la galerie maîtresse.</p> <p>Le grisou se montrait de temps à autre, bien qu'en petite quantité, dans les remontées.</p> <p>Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient entrés, vers six heures du soir, dans la mine, à l'effet d'élargir la galerie en un point où le peu d'élévation du toit rendait le roulage difficile. Trouvant que l'abatage au pic n'allait pas assez vite, ils résolurent d'employer la poudre. Ils préparèrent à cet effet deux coups de mine, qui furent prêts vers dix heures du soir. Le premier fut tiré sans accident. Le second coup était chargé ; mais au moment de l'explosion, la cannette allumée fut projetée dans la remontée située en face, et y détermina l'inflammation d'une certaine quantité de grisou qui s'y était accumulée. Une détonation assez vive se produisit. Pour se mettre à l'abri du coup de mine, les deux ouvriers s'étaient retirés en arrière ; malgré cette précaution, la flamme les atteignit et brûla l'un d'eux grièvement.</p> <p>Remarques particulières. — Les lampes de sûreté des vitrines ont été retrouvées en bon état et intactes, à l'endroit où les deux mineurs s'étaient mis à l'abri</p> <p>On avait choisi, pour ce travail, des ouvriers expérimentés, vu la présence à craindre du grisou, on leur avait recommandé de ne faire l'abatage qu'au pic ou à la pointe.</p>
Circonstances de l'accident. — Pas de détails.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS

4. — Concession de

N ^{os} d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
532	1856 29 Octobre.	Mine Werbrouck.	»	1 Brûlé assez grièvement.	?	?	?	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence de la victime, qui, malgré les conseils de ses camarades, avait mis le feu à un coup de mine, dans un chantier où la présence du grisou avait été constatée.
533	1857 2 Avril.	Mine Marie-Louise.	»	2 Brûlés dont 1 grièvement.	?	?	Suspension du travail dans une remontée en percement, aérée pourtant d'une manière convenable.	Flamme d'une lampe de sûreté chassée hors du treillis par suite d'un mouvement brusque.	»
534	1858 29 Mai.	Mine Werbrouck.	2	» Brûlés.	?	?	Insuffisance de ventilation à l'avancement d'un niveau en percement, dont les 60 derniers mètres n'étaient aérés que par diffusion.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence des victimes qui avaient tiré un coup de mine sans nécessité.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

portes et Sénéchas (suite).

OBSERVATIONS.	
11	
<p>Indications générales. — L'aérage était très bon. Les ouvriers étaient munis de lampes de sûreté. L'exploitation de la mine Werbrouck était bien conduite et des précautions convenables étaient prises pour éviter les explosions de grisou</p> <p>Circonstances de l'accident. — Plusieurs ouvriers travaillaient dans un chantier. Après avoir préparé un coup de mine destiné à l'abatage du charbon, ils furent remplacés par deux ouvriers du poste de nuit. Peu de temps après leur arrivée, l'un d'eux ayant quitté le chantier, l'autre se mit en devoir de faire partir le coup de mine préparé pendant le jour. Après y avoir mis le feu, il se retira à quelques mètres en arrière. Une certaine quantité de grisou qui s'était accumulée dans le chantier s'alluma à la flamme du coup de mine et brûla assez grièvement le mineur.</p> <p>Remarques particulières. — Les ouvriers du poste de jour avaient remarqué la présence d'une certaine quantité de gaz et, le soir, en quittant leur travail, ils avaient fait part de cette observation à leurs camarades en leur recommandant de ne pas faire partir le coup de mine qui avait été préparé.</p>	
<p>Indications générales. — Les chantiers étaient visités tous les jours avant le commencement du travail.</p> <p>Circonstances de l'accident. — Un maître mineur faisait sa tournée habituelle accompagné par un chef de poste. En arrivant dans une remontée en percement entre deux niveaux, le chef de poste, qui marchait un peu en arrière, s'aperçut que la lampe de sûreté du maître mineur, que celui-ci tenait pourtant très basse, se remplissait de grisou. Il en avertit le maître mineur; celui-ci s'étant retiré brusquement en arrière; une explosion se produisit immédiatement. Le maître-mineur fut brûlé assez grièvement; le chef de poste ne fut que légèrement atteint.</p> <p>Remarques particulières. — Les travaux étaient suspendus depuis deux jours dans la remontée où a eu lieu l'accident; mais elle avait été visitée la veille sans qu'on y remarquât la moindre trace de gaz. Un mur, établi jusqu'à 2^m du front de taille, forçait le courant d'air à la parcourir. Le mouvement brusque qu'avait fait le maître-mineur en se retirant brusquement en arrière, avait très probablement fait sortir la flamme de la lampe hors du treillis, ce qui a provoqué l'explosion du gaz.</p>	
<p>Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient à l'avancement d'un niveau ouvert à l'extrémité d'un plan incliné et ayant 70^m de longueur. La houille qu'ils abattaient était tendre; malgré cela ils préparèrent un coup de mine et l'allumèrent avec une cannette volante. Le trou fit canon, une explosion de grisou eut lieu et les deux ouvriers furent brûlés mortellement.</p> <p>Remarques particulières. — Le niveau où s'est produit l'accident était aéré au moyen d'une cheminée débouchant à 60^m du front de taille; le reste n'était donc aéré que par diffusion. Ordre avait été donné aux deux victimes de ne se servir de la poudre qu'en cas d'absolue nécessité. L'emploi de cannettes volantes était également interdit pour l'allumage des coups de mine.</p>	

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIN

A — Concession de

N ^o d'ordre	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
535	1861 19 Fé- vrier.	Mine Wer- brouck. — Couche du canal.	»	3 Brûlés dont 1 assez griève- ment.	705	Tonnes. 119.049	Cloche produite par un petit ébou- lement au toit des remblais, au voi- sinage du front de taille d'un chan- tier de défilage en remonte.	Lampe de sûreté dont le treillis avait été percé d'un coup de pic.	Maladresse de l'une des victimes qui avait percé le tamis de sa lampe d'un coup de pic.
536	Id. 9 Juillet.	Mine Sairte- Amélie.	1 Brûlé.	?	Id.	Id.	»	»	»
537	Id. 10 Oc- tobre.	?	»	1 Brûlé.	Id.	d.	»	»	»
538	1862 15 Jan- vier.	?	»	1 Brûlé.	710	120.617	»	»	»

3. — GROUPE DU GARD

a — Département du Gard.

Portes et Sénéchas (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'air entrant par un plan incliné débouchant au jour ; le courant se divi-
sait ensuite en deux branches qui parcouraient les niveaux inférieurs et s'élevaient dans les différents
niveaux jusqu'au troisième, à l'extrémité duquel se trouvait un foyer d'aéragé.

Des murs, établis dans tous les chantiers jusqu'à 4^m du front de taille, forçaient le courant d'air à
arriver jusqu'aux avancements.

Le volume et la vitesse du courant d'air étaient suffisants et sa distribution, bonne.

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers travaillaient dans un chantier de défilage, ouvert
en remontant dans la couche du canal, à l'extrémité d'un niveau et contre les remblais.

Un des ouvriers, ayant donné involontairement un coup de pic à sa lampe et l'ayant élevée pour se
rendre compte de la détérioration qu'elle avait subie, deux explosions se produisirent successivement.
Cet ouvrier fut brûlé assez grièvement ; ses deux compagnons ne furent que légèrement atteints

Les deux détonations furent faibles ; les flammes ne sortirent pas du chantier.

Remarques particulières. — La seconde explosion, plus forte que la première, a été attribuée à
l'existence d'une cloche produite au voisinage du front de taille, par un petit éboulement survenu au
toit des anciens défilages.

Le treillis de la lampe cause de l'explosion était percé d'un trou, en forme de losange, ayant deux
centimètres de côté.

Circonstances de l'accident. — Pas de détails.

Circonstances de l'accident. — Pas de détails

Circonstances de l'accident. — Pas de détails

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE
1. — BASSIN D'ALAIN
4. — Concession de

N ^{os} d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
539	1862 10 Avril.	Mine Saint-Urbin. — Couche de la Grande-Beaume.	2 Brûlés.	1 Brûlé.	710	Tonnes. 420.617	?	?	?
540	Id. 1 ^{er} Juin.	Puits Mirès. — Couche Terre-noire.	1 Brûlé.	»	Id.	Id.	Déplacement du gaz par l'effet d'une porte d'aé- rage nouvelle- ment établie.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de la victime qui se- vait détamisé sa lampe de sûreté.
541	Id. 6 Octo- bre.	Mine Chauvel.	»	1	Id.	Id.	»	»	»

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

portes et SÉNÉCHAS (suite).

OBSERVATIONS

41

Indications générales. — Le courant d'air venait de la mine Sainte-Amélie et du Puits Mirès, et débouchait dans la galerie Saint-Urbin. Deux portes l'obligeaient à passer dans les bancs supérieur et inférieur de la couche de la Grand-Baume.

Le grisou se montrait dans la mine. Les chantiers étaient visités par le gouverneur avant la reprise du travail.

Circonstances de l'accident. — Sur la droite et au niveau de la galerie Saint-Urbin on avait pris deux allongements dans le banc supérieur et dans le banc inférieur de la Grand-Baume. Un travers-banc d'aé-
rage avait été commencé à l'extrémité du premier, pour le mettre en communication avec le second. Deux ouvriers étaient occupés à l'avancement du banc supérieur; un troisième travaillait seul au percement du travers-banc, lorsque deux explosions consécutives se produisirent. On accourut et l'on trouva les trois ouvriers grièvement brûlés; deux d'entre eux moururent des suites de leurs blessures.

Remarques particulières. — Deux heures avant l'accident, le chef de poste avait visité le chantier et n'y avait pas trouvé de grisou; un coup de mine avait même été tiré devant lui; il avait continué sa lournée sans laisser de recommandations spéciales.

La première explosion a été produite par l'accumulation de grisou, la seconde, beaucoup plus forte, a été attribuée à l'inflammation d'un cabas contenant 700 grammes de poudre en cartouches.

Les lampes des victimes ont été retrouvées intactes et en bon état; une seule était bosselée.

Les causes de l'accident sont restées obscures. On n'a pu savoir si l'explosion avait été déterminée par le départ d'un coup de mine, ainsi que l'ont déclaré les victimes, ou bien en essayant d'allumer une pipe.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier sortait de la mine après avoir terminé l'établissement d'une porte d'aé-
rage construite dans un niveau de la couche Terre-Noire, entre deux remontées réunies par un niveau supérieur, dans le but de forcer le courant d'air à passer dans le circuit formé par ces trois dernières galeries.

S'étant aperçu qu'il avait oublié un objet derrière la porte, il revint le chercher sans prendre le soin de refermer sa lampe de sûreté, qu'il avait ouverte pendant son travail.

Au moment où il arrivait derrière la porte, il détermina l'explosion du grisou que le courant d'air nouvellement établi chassait du niveau supérieur; il se retira en arrière, mais une seconde explosion eut lieu dans le niveau supérieur et dans les remontées; les flammes, arrivant des deux côtés jusqu'à lui, le brûlèrent mortellement.

Remarques particulières. — L'air arrivait par un travers-bancs dans le niveau où a eu lieu l'accident; il suivait ensuite ce niveau jusqu'au front de taille, gagnait un niveau inférieur par une descente de quelques mètres et se rendait par une remontée dans les travaux de la mine Ste-Amélie.

Circonstances de l'accident. — Pas de détails

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN D'ALAIS.

4. — Concession de

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
542	1864 23 Fé- vrier.	Mine du Puits d'aérage — Couche Palmesalade.	»	3 Brûlés légèrement.	866	Tonnes. 144.690	Remontée en percement dont le front de taille était insuffisamment aéré.	Coup de mine bourré avec du menu charbon et ayant fait long feu.	Imprudence des ouvriers qui ne s'étaient pas retirés à une distance convenable d'un coup émine qu'ils venaient d'allumer.
543	1865 25 Sep- tembre.	Mine Sainte-Amélie.	»	1	931	159.284	»	»	»
544	1866 6 Jan- vier.	Couche Canal.	»	1 Brûlé légèrement.	789	131.430	Chantier en descente.	Lampe de sûreté ouverte.	Imprudence de la victime qui s'était rendue, avec une lampe de sûreté ouverte, dans une partie du chantier nouvellement défilée.
545	Id. 10 Jan- vier.	Puits de l'Ognègue.	»	1 Brûlé.	Id.	Id.	»	»	»

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Portes et Sénéchas (suite).

OBSERVATIONS.

41

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers poussaient une remontée de 5^m de largeur dans la couche Palmesalade. Un coup de mine préparé dans l'un des angles du front de taille ayant raté, ils le débourent, y mirent une nouvelle amorce, le bourrèrent de nouveau avec du menu charbon et se réfugièrent dans l'angle opposé du front de taille après l'avoir allumé. Le coup fit long feu; en partant, il enflamma une petite quantité de grisou qui s'était accumulée au toit du chantier. Les trois ouvriers furent brûlés légèrement.

Remarques particulières. — Un mur en remblais établi dans la remontée jusqu'à 3 ou 4^m du front de taille, forçait le courant d'air à la parcourir.

Circonstances de l'accident. — Pas de détails

Circonstances de l'accident. — Quatre ouvriers étaient occupés, dans un chantier en descente, à enlever un petit massif de charbon. Pendant qu'ils prenaient leur repas, l'un d'eux voulant satisfaire un besoin, se rendit avec sa lampe de sûreté ouverte dans la partie nouvellement défilée; une petite explosion de grisou se produisit et le brûla légèrement.

Remarques particulières. — Le chantier où a eu lieu l'accident était aéré par diffusion

Le grisou ne s'y était pas encore montré.

La victime avait la mauvaise habitude de fumer; il est probable que c'est pour allumer sa pipe qu'elle avait enlevé le treillis de sa lampe, soit au moyen d'une clef qu'elle avait sur elle, soit au moyen de la clef commune qui se trouvait dans la galerie de roulage.

Après l'accident, le chantier ne présentait aucune trace de grisou. La petite quantité de gaz qui s'est enflammée devait se trouver dans quelque cloche du toit, au milieu de la partie éboulée.

Circonstances de l'accident. — Pas de détails

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE
1. — BASSIN D'ALAIN
4. — Concession de

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
546	1866 5 Novembre.	Puits Sud (ancien puits Mirès) — Couche Terre-Noire.	»	1 Brûlé très grièvement.	789	Tonnes. 131.430	Remontée en cul-de-sac, dans laquelle une cloison séparative en remblai assurait une ventilation insuffisante.	?	Négligence de maître-mineur qui n'avait pas fait sa tournée réglementaire du lundi matin. Imprévoyance du chef de poste qui avait abandonné des ouvriers à eux-mêmes dans un chantier grisoueux.
547	Id. 21 Novembre.	Puits Sud.	»	1 Brûlé grièvement.	Id.	Id.	? Soufflard rencontré en perçant un trou de mine.	Flamme d'un coup de mine	Cause fortuite.

ACCIDENTS DE GRISOU.
3. — GROUPE DU GARD.
a. — Département du Gard.
Portes et Sénéchas (suite).

OBSERVATIONS.

41

Indications générales. — Les travaux n'avaient été repris à la mine du Puits Sud (ancien puits Mirès) qu'au mois d'août 1863; ils ne consistaient encore qu'en un travers-bancs, une galerie d'allongement et sa parallèle et une montée communiquant avec les chantiers du puits d'aérage; le tout dans la couche Terre Noire.

Sans être très vif, le courant d'air était suffisant, eu égard à la petite étendue des travaux qu'il avait à parcourir.

La mine dégageait du grisou en assez grande quantité.

Circonstances de l'accident. — On poussait deux nouvelles remontées, destinées à la descente du charbon, provenant de la partie de la couche située entre le niveau inférieur du puits d'aérage et le niveau du puits Sud. L'une d'elles avait atteint 38^m de longueur et était sur le point de rencontrer une parallèle supérieure, communiquant avec la remontée principale; elle avait 6^m de largeur; un mur formé de remblais occupait le milieu. Le 5 novembre, trois ouvriers s'étant rendus dans cette remontée et y ayant reconnu la présence du grisou, redescendirent à la recette pour prévenir le chef de poste. Celui-ci, après avoir visité le chantier, recommanda aux ouvriers de boucher avec de menu charbon et de petits morceaux de schistes, les trous qui pouvaient se trouver dans le galandage, puis il quitta le chantier pour se rendre dans un autre où il était demandé. Les trois ouvriers avaient commencé à exécuter cet ordre et, à cet effet, s'étaient échelonnés le long du galandage. Au bout de quelques instants, le gaz prit feu sur la lampe de l'ouvrier qui était en avant et le brûla grièvement; ses deux camarades, qui étaient près de lui, eurent au contraire le temps de se jeter à terre et ne furent pas atteints. Leurs lampes ne s'éteignirent même pas.

Remarques particulières. — Vu la quantité de grisou qui s'y montrait, une active surveillance aurait dû être exercée dans ce quartier de la mine.

La tournée réglementaire du lundi matin n'avait pas été faite avant l'arrivée des ouvriers.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités :

1^o A créer le galandage des remontées avec du mortier (cet accident montrant que les murs en remblais sont insuffisants pour intercepter le passage de l'air sur une longueur de 30^m).

2^o A tenir la main à ce que la tournée réglementaire du lundi matin fût faite.

3^o A ordonner aux chefs de poste de ne jamais laisser les ouvriers abandonnés à eux-mêmes dans un chantier où il y aurait du grisou.

Indications générales. — L'aérage était naturel.

Une visite des chantiers était faite tous les lundis matins avant le commencement du travail.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers poussaient une descenderie à l'extrémité d'une amorce de galerie en direction prise au premier niveau du plan incliné du puits sud. L'avancement de l'amorce était de 25^m et celui de la descenderie de 3^m50 suivant une pente de 25 % environ.

L'un des mineurs venait de mettre le feu à un coup de mine qu'il avait préparé au toit de la descenderie. Il s'était garé dans le niveau, à 9^m de la naissance de la descenderie. L'inflammation de la poudre, après s'être fait attendre, communiqua le feu à une certaine quantité de gaz qui brûla grièvement le premier ouvrier; son camarade, qui était à quelques mètres en arrière, fut projeté contre un wagonnet qui se trouvait près de lui et n'eut aucun mal.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASIN D'ALAIS

A. — Concession de

N ^o d'ordre	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
4	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.			
548	1868 21 Avril.	Puits Central.		1 Brûlé légèrement	725	159.237	Plancher provisoire empêchant le renouvellement de l'air dans un puits	Lampe à feu nu	Cause fortuite.
549	Id. 17 Décembre.	Mine Sainte-Amélie. — Couche Saint-Augustin. — Banc inférieur	»	1 Brûlé grièvement	Id.	Id	Suspension du travail pendant 12 heures dans une galerie de roulage de 50 ^m de longueur, aérée seulement par diffusion.	Lampe de sûreté détamisée	Imprudence de la victime qui avait détamisé sa lampe de sûreté.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

portes et Sénéchas (suite).

OBSERVATIONS.

11

Remarques particulières. — Le chantier où a lieu l'accident n'était aéré que par diffusion; on n'y avait pas encore constaté la présence du grisou.

Deux jours avant l'accident et une heure encore avant l'explosion, le chef de poste n'avait constaté dans la visite de ce chantier, aucune trace de gaz.

La présence accidentelle du grisou n'a pu s'expliquer que par la présence d'un soufflard qui aurait été ouvert en perçant le trou de mine.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Défense a été faite aux ouvriers de ce quartier de se servir de la poudre pour l'abatage du charbon.

Indications générales. — L'aérage était très bon
On ne se servait que de lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Le transport de trois chaudières, destinées au service du puits central et placées à l'intérieur de la mine près de l'ouverture du puits, avait nécessité la pose, sur l'orifice de ce dernier, d'un plancher provisoire très solide. Un ouvrier, en nettoyant les abords du puits, après l'installation des chaudières, avait fait tomber dans la fosse quelques débris qui auraient déterminé un trou dans le plancher. Quelques heures après, deux rouleurs conduisaient un chariot sur la voie ferrée qui passait sur le plancher. Une lampe à feu nu accrochée au chariot étant venue tomber près du trou, une petite explosion se produisit immédiatement dans le puits et brûla légèrement l'un des rouleurs; son camarade n'eut aucun mal.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Des ordres ont été donnés pour que les ouvriers travaillant aux abords du Puits Central, fussent munis de lampes de sûreté.

Circonstances de l'accident. — Un chantier venait d'être ouvert depuis quelques jours dans le banc inférieur de la couche Saint-Augustin, à l'extrémité d'une galerie de roulage de 50^m de longueur, aérée seulement par diffusion. Ce chantier, de 8^m de largeur, n'avait encore que 1^m50 de longueur.

Deux ouvriers venaient d'y reprendre leur travail après 12 heures d'absence, quand l'un d'eux, ayant détamisé sa lampe de sûreté, détermina une petite explosion de grisou qui le brûla légèrement. Le second ouvrier, placé à quelques mètres du premier, eut le temps de se jeter à terre et ne fut pas atteint.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS

4. — Concession de

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes directes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
4	5	6	7	8	9	10			
550	1871 21 Avril.	Mine Sainte-Amélie. — Couche Saint-Augustin	1 Asphyxyé.	»	810	Tonnes. 451.373	Remontée de 25 ^m de longueur abandonnée à cause de la grande quantité de gaz qui s'y accumulait.	Asphyxié par le grisou	Imprudence de la victime qui avait pénétré dans la remontée, malgré la défense du maître-mineur.
551	1872 19 Avril.	Mine du Puits-Sud. — Couche Saint-Augustin.	»	1 Brûlé légèrement	938	190.172	Insuffisance d'aérage au toit d'un chantier en remonte de 95 ^m de développement	Lampe de sûreté détamisée ou en mauvais état	Imprudence de la victime, qui s'était servi d'une lampe en mauvais état ou l'avait détamisée.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Portes et Sénéchas (suite).

OBSERVATIONS.

41

Indications générales. — L'aérage se faisait naturellement entre la galerie Sainte-Amélie et les différents orifices situés à des niveaux supérieurs.

Circonstances de l'accident. — Une remontée, percée dans un niveau du premier banc de la couche Saint-Augustin, avait été abandonnée à 25^m de longueur à cause de l'affluence du grisou.

Deux ouvriers perçaient une descenderie dans le niveau supérieur à la rencontre de cette remontée. La communication devait bientôt avoir lieu, aussi envoyait-on de l'air dans la remontée au moyen d'un ventilateur établi dans le courant d'air.

Le maître mineur avait défendu aux ouvriers de pénétrer dans la remonte ; malgré cette défense, un des ouvriers travaillant au percement s'engagea sans lumière dans cette galerie pour se rendre compte de la distance à laquelle se trouvaient les fronts de taille ; il tomba asphyxié avant d'être arrivé à l'extrémité. On ne put retirer son cadavre qu'une heure après, en réparant la colonne de tuyaux qu'un éboulement avait détériorée

Remarques particulières. — Dans les travaux du troisième travers-bancs, dans lesquels l'accident s'est produit, aucune disposition spéciale n'avait été prise pour diriger le courant d'air.

En hiver, l'aérage y était assez satisfaisant ; en été, il était parfois défectueux.

Cet accident montre le danger qu'il y a, en présence du grisou, à relier des niveaux par des percements en remonte

Indications générales. — Les travaux de la couche Saint-Augustin étaient suffisamment aérés. Ils étaient parcourus par une des branches du courant d'air entrant par le puits Sud et sortant par le puits d'aérage, sur lequel était établi un puissant ventilateur ; cette branche passait au front de taille de tous les chantiers.

Circonstances de l'accident. — Un chantier en remonte, de 4^m50 de largeur, pris dans la galerie de roulage du premier niveau, avait atteint 95^m de développement ; il était remblayé sur 3^m de largeur dans sa partie moyenne, jusqu'à 4^m du front de taille. Trois ouvriers y travaillaient, l'un d'eux en élevant sa lampe au toit détermina l'inflammation d'une petite quantité de grisou et fut brûlé légèrement. Les deux camarades n'eurent aucun mal.

Remarques particulières. — Le chantier où s'est produit l'accident eut été aéré d'une manière bien plus efficace, s'il eut été mis en communication avec un plan incliné servant de retour d'air, dont il n'était distant que de 15 mètres

La victime a prétendu que sa lampe, qui était en mauvais état, s'était subitement ouverte en touchant le toit ; mais une expérience a prouvé que cette lampe, même incomplètement vissée, ne s'ouvrait pas quand on la maniait brusquement ; il est plus probable que l'ouvrier l'avait détamisée pour y voir plus clair

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN D'ALAR

4. — Concession de

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							8	9		10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
552	1875 1 ^{er} Juillet.	Puits Nord. — Couche Grand-Canal.	»	1 Brûlé très légèrement.	1005	139.691	Interruption du travail pendant deux heures dans une taille montante au toit de laquelle une sous-cave avait été pratiquée. Ralentissement de la ventilation occasionné par un temps chaud et orageux	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de la victime qui avait élevé dans une cloche du toit, sa lampe de sûreté détamisée.
553	1877 6 Août	Id. Couche Jenny. — Niveau de 239 ^m	»	1 Brûlé légèrement.	780	149.556	? Mise à jour d'un soufflard par le tirage d'un coup de mine, ou Poussières fines de houille soulevées et enflammées par le coup de mine.	Flamme d'un coup de mine.	»

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

portes et Sénéchas (suite).

OBSERVATIONS

41

Indications générales. — L'air entrant par la galerie Burat, aéraït simultanément les travaux de deux couches Canal en passant au front de taille de tous les chantiers et débouchait, à 40^m de l'orifice, dans la galerie Werbrouck par laquelle entrant le courant, destiné à l'aéragé d'autres travaux, déterminé par un ventilateur aspirant établi sur le puits d'aéragé

En hiver, l'aéragé était suffisant, mais pendant les chaleurs de l'été le courant d'air se renversait quelquefois au milieu du jour, à cause de la faible distance de son débouché dans le travers-bancs Werbrouck, à l'orifice de cette galerie.

Circonstances de l'accident. — Le puits Nord n'avait plus en activité que quelques chantiers dans les deux couches Canal, où l'on reprenait les piliers de protection laissés par la première exploitation. Un ouvrier travaillait dans une taille montante de la couche Grand-Canal, au front de laquelle passait le courant d'air. En rentrant au chantier après deux heures d'absence, il plaça sa lampe de sûreté détamisée dans une sous-cave qu'il avait pratiquée à la partie supérieure du front de taille. Il détermina l'inflammation d'une petite quantité de grisou et fut légèrement brûlé.

Remarques particulières. — Le jour de l'accident, le temps était chaud et orageux et le courant d'air devait éprouver de ce fait un ralentissement notable.

Indications générales. — L'aéragé se faisait naturellement; l'air entrant par le puits Nord et sortait par des orifices différents, suivant les saisons

En égard au peu de développement des travaux, la ventilation pouvait être considérée comme suffisante.

Circonstances de l'accident. — Des ouvriers travaillaient dans une taille montante de la couche Jenny, au niveau de 239^m. Cette couche, de 1^m80 de puissance, contenait un nerf de 0^m60. Un coup de mine préparé en montant avait été allumé à la partie inférieure des gradins supérieurs de la taille, pour faire sauter le nerf; avant l'allumage, les ouvriers avaient visité le chantier et n'avaient pas aperçu de grisou.

Le coup fut prolongé plus que d'ordinaire. Au moment de son départ, des flammes suivirent la partie supérieure du front de taille et descendirent un montage voisin, jusqu'à la galerie de niveau, où elles brûlèrent légèrement un rouleur.

Un des ouvriers qui s'était réfugié dans le montage, vit la flamme, se jeta à terre et ne fut pas atteint.

Remarques particulières. — Dans la taille où l'accident s'est produit, l'air arrivait par la galerie de niveau, s'élevait par les trois gradins et redescendait dans la galerie par le remontage situé à l'extrémité du gradin supérieur; le courant d'air était satisfaisant.

Le chef de poste avait visité le chantier quelques heures avant l'accident; il n'avait trouvé aucune trace de gaz.

La visite opérée par les ouvriers avant l'allumage du coup de mine avait-elle été mal faite?

Le coup de mine avait-il percé et allumé un des soufflards que présentait quelquefois la couche?

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE
1. — BASSIN D'ALAIN
4. — Concession de

N ^o d'ordre	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS an fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.			
554	1880 4 Fé- vrier.	Puits Nord. — Couche Terre noire. — Banc supérieur — Quartier de Sainte-Emma	•	1 Brûlé.	737	153.800	Chômage d'une heure 1/2 à l'avancement d'une galerie montante en cul-de-sac aérée seulement par diffusion.	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime qui, ayant reconnu la présence du grisou, avait persisté à se servir de sa lampe à feu nu.
555	Id. 7 Sep- tembre.	Id	»	5 Brûlés dont 2 très grièvement.	Id.	Id.	Cloches existant au toit d'un niveau dans le voisinage d'un rejet important.	Flamme d'un coup de mine.	Manque d'habileté de la part du chef de poste et du chef de chantier qui n'avaient pas su reconnaître le grisou accumulé dans les cavités du toit au voisinage du chantier.

ACCIDENTS DE GRISOU.
3. — GROUPE DU GARD.
a. — Département du Gard.
portes et Sénéchas (suite).

OBSERVATIONS.	
41	
<p>L'accident était-il dû simplement à l'inflammation des poussières que le coup de mine, dirigé vers le sol, aurait soulevées en partant ? Telles sont les diverses hypothèses qui ont été faites pour expliquer l'accident. L'absence du grisou avant et après, la position du trou de mine et la nature demi-grasse du charbon ont semé toutefois confirmer la dernière supposition.</p>	
<p>Indications générales. — Les chantiers avoisinant la galerie de roulage étaient mal aérés. Circonstances de l'accident. — Après le repas habituel de midi à une heure et demie, un ouvrier qui venait de reprendre son travail dans une montante de 4^m ouverte dans la galerie de roulage, a été assez grièvement brûlé par une petite inflammation de grisou provoquée par sa lampe à feu nu. Remarques particulières. — La victime s'était déjà aperçue quelques instants avant l'accident de la présence d'une petite quantité de grisou dans cette remontée; malgré cela, elle avait négligé de se servir de sa lampe de sûreté. Mesures prises à la suite de l'accident. — L'entrepreneur des travaux a été invité à exiger l'emploi des lampes de sûreté dans tous les chantiers avoisinant la galerie de roulage.</p>	
<p>Indications générales. — L'aérage était suffisant. Circonstances de l'accident. — Huit ouvriers étaient occupés dans une taille et dans deux montants très courts qui y débouchaient. Dans l'un de ces derniers, le chef de chantier mit le feu à un coup de mine, après avoir inspecté les cavités du toit et prévenu ses camarades. Au moment du départ du coup, une inflammation de gaz se produisit et se propagea, de part et d'autre du montant, dans le niveau, où elle brûla deux ouvriers, et jusque dans la taille plus éloignée, où elle atteignit encore trois ouvriers, dont deux très grièvement. Remarques particulières. — Il passait au moins 1^m3 d'air par seconde devant le montage où l'explosion s'est produite et dans la taille où elle s'est propagée. Un rejet important, dit rejet de Flambert, existait dans le voisinage. On a remarqué, après l'accident, la présence d'une excavation au toit du remontage, à son point de rencontre avec le niveau. Ce dernier présentait également, un peu plus loin, un renforcement voisin du rejet et que l'on trouva rempli de gaz.</p>	

A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIN

4 Concession de

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes directes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	
						Tonnes.			

5. — Concession

(Instituée par décret

556	1875 22 Mai.	Couche N° 1.	»	1 Brûlé légère- ment.	300	50567	Chômage de 2 heures dans une galerie de niveau légèrement en remonte à son extrémité	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence d'un chef de chantier qui avait ouvert sa lampe de sûreté et laissé la vitre time détamiser la sienne.
-----	-----------------	-----------------	---	--------------------------------	-----	-------	--	----------------------------	---

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

portes et sénéchas (suite).

OBSERVATIONS.

11

Le chef de poste qui était passé une demi-heure auparavant devant le montage où l'accident s'est produit, a déclaré n'avoir trouvé de gaz ni dans la cloche, ni dans le renfoncement de l'extrémité du niveau; mais on a constaté ensuite son inhabileté à reconnaître le grisou.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à ne confier les fonctions de chef de chantier qu'à des ouvriers sachant parfaitement reconnaître le grisou et à établir, s'il était possible, dans leurs travaux, un service spécial de *boute feux*.

de Salles de Gagnières.

du 28 Août 1832).

Indications générales. — L'aérage se faisait entre le puits Gagnières et le puits Thomas, sur lequel était établi un ventilateur à force centrifuge.

Une partie de l'air entrant par le puits Gagnières, aérail le premier niveau; l'autre partie suivait le travers-bancs du troisième niveau et aérail les travaux des couches N° 1 et N° 3.

Le volume d'air parcourant les travaux de la couche N° 1 était largement suffisant pour un quartier qui n'avait que trois chantiers en activité.

Circonstances de l'accident. — Une galerie de niveau de la couche N° 1, percée dans une remontée où passait le courant d'air, avait atteint 12^m de longueur. Les derniers mètres avaient été faits en montant, à cause d'un nerf schisteux que l'on avait rencontré et tourné. Le chef de chantier et l'ouvrier travaillant à l'avancement de cette galerie avaient détamisé leurs lampes de sûreté avec une fausse clef et venaient prendre leur repas. Au moment où l'ouvrier, rentrant au chantier, arrivait au front de taille, sa lampe, qu'il tenait assez élevée, détermina l'explosion d'une petite quantité de grisou qui s'y était accumulée pendant le repas. Il fut légèrement brûlé.

Remarques particulières. — Le maître mineur et le chef de poste avaient visité le chantier deux heures avant l'accident et n'avaient pas trouvé de gaz.

Un arrêté préfectoral du 12 août 1862, prescrivait aux mines de Salles, l'emploi des lampes de sûreté fermées à clef.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN D'ALAIN
5. — Concession de

1 Nos d'ordre.	2 DATE de l'accident.	3 LIEU de l'accident.	4 NOMBRE d'ouvriers		6 OUVRIERS au fond.	7 PRODUCTION annuelle de la mine. Tonnes.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			4 Tués.	5 Blessés.			Causes directes		40 Causes indirectes.
							8 de l'accumulation du gaz.	9 de l'inflammation du gaz.	
557	1877 8 Mars.	Puits de La Vernède. — Couche N° 2.	»	2	280	52258	Insuffisance de ventilation à l'avancement d'un montage en percement, dont la colonne de tuyaux avait été laissée à 5 ^m en arrière du front de taille. Ralentissement possible du courant d'air sous l'influence d'une baisse barométrique qui régnait le jour de l'accident.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de l'une des victimes qui, malgré les avertissements, avait pénétré dans un chantier suspect sans levisier et, de plus, avait très probablement détamisé sa lampe de sûreté.
558	1878 29 Juin.	Puits de Gagnières. — Couche N° 1.	»	1	300	50567	Poussières charbonneuses produites par le charbon gras, devenu très sec et très friable dans le voisinage d'une faille.	Inflammation de poussières charbonneuses déposées sur le treillis taché d'huile, d'une lampe Dubrulle	Maladresse de la victime qui avait renversé sa lampe dont le treillis était taché d'huile.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

salles de Gagnières (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage général de la mine laissait beaucoup à désirer.

Dans la partie Sud, l'air suivait un trajet très accidenté, tantôt ascendant, tantôt descendant, dans des galeries de section souvent insuffisantes, sortait des travaux au niveau le plus bas et, au lieu de se diriger vers le ventilateur, prenait un long détour pour venir se réunir au courant du Nord. Enfin les deux courants réunis suivaient une remontée assez longue et très étroite avant d'arriver au retour d'air.

Circonstances de l'accident. — Les couches N° 1 et N° 2 étant en traçage au 4^me étage. Un montage en percement dans la couche N° 2 avait 28^m de longueur; il était aéré au moyen d'une colonne de tuyaux, partant d'une porte d'aérage et aboutissant à la partie supérieure du montage, de manière à amener à l'avancement la totalité du courant d'air.

Pendant le poste de jour, la colonne de tuyaux avait été laissée à 5^m en arrière du front, malgré les ordres donnés par le maître mineur et par le chef de poste en faisant leur visite, et malgré la présence du grisou constatée par le mineur employé à l'avancement. L'ouvrier prenant le poste de nuit avec son manœuvre avait été prévenu que le grisou s'était montré pendant le poste précédent. Il se mit cependant au travail, sans faire la visite du montage et sans allonger la colonne de tuyaux, bien que l'ordre lui en eût été transmis. De plus, il détamisa très probablement sa lampe de sûreté. Une explosion s'étant produite, il fut brûlé légèrement ainsi que son aide.

Remarques particulières. — La ventilation du montage dans lequel l'accident s'est produit était très-suffisante quand les tuyaux arrivaient près du front de taille.

Le grisou ne s'était pas montré depuis longtemps dans cette partie de la mine; il devait être en très-petite quantité au moment de l'accident. Après l'explosion on n'en a retrouvé aucune trace.

Le jour de l'accident, on a observé une forte baisse barométrique aux mines voisines. Les deux lampes de sûreté ont été retrouvées non fermées à clef.

Indications générales. — L'air entrait par les trois puits de La Vernède, de Gagnières et du Viaduc, il sortait par un orifice unique, sur lequel était établi un ventilateur à force centrifuge.

Le volume d'air total circulant dans les travaux était de 9^m3700 par seconde. Cette quantité était supérieure au vingtième du nombre de tonnes extraites par vingt-quatre heures; l'orifice équivalent de la mine était de 0,738.

Depuis plus d'un an, l'aérage était notablement amélioré, grâce au plus grand fonctionnement et à l'indépendance presque complète des courants qui, en outre, avaient été rendus presque tous ascendants; grâce aussi à la simplification des circuits et à l'élargissement des galeries parcourues par l'air.

Circonstances de l'accident. — Une descente en percement dans la couche N° 1 venait de rencontrer une faille, aux abords de laquelle le charbon gras, devenu très-léger, très-sec et extrêmement friable, produisait beaucoup de poussières.

Un ouvrier, qui travaillait à l'avancement de cette descente, était agenouillé près du front de faille, ayant, par un mouvement brusque, renversé sa lampe Dubrulle, qu'il avait posée à terre, sur un gradin de 0^m30 de hauteur, il se trouva enveloppé par des flammes rougeâtres et brûlé légèrement.

Remarques particulières. — Le treillis de la lampe de la victime porta la trace d'un coup de feu, il était taché d'huile en deux endroits.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIN

5. — Concession

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
4	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.			

6. — Concession de

(Instituée par décret du

559	1844 16 Mars.	Mine Sainte Barbe.	1 Brûlé.	1 Brûlé.	31	4131	Vieux travaux éboulés et abandonnés	Lampes à feu nu	Imprudence des victimes qui avaient pénétré avec des lampes à feu nu, dans de vieux travaux abandonnés.
-----	------------------	--------------------------	-------------	-------------	----	------	--	--------------------	---

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

de Salles de Gagnières (suite).

OBSERVATIONS.

41

On a supposé qu'au moment où la lampe a été renversée, la poussière de charbon qui recouvrait le treillis était tombée dans l'intérieur de la lampe et avait pris feu, puis que la flamme rencontrant la toile métallique enduite d'huile et de charbon avait fait rougir les particules charbonneuses, était sortie hors du treillis et avait enflammé une petite quantité de grisou ainsi que les poussières charbonneuses en suspension dans l'air.

Le maître-mineur avait visité le chantier trois heures avant l'accident; l'ouvrier en avait fait autant une demi-heure auparavant, en revenant de prendre son repas. Ni l'un ni l'autre n'avaient reconnu la présence du grisou. Après l'accident, on en a constaté une très faible quantité, au point le plus élevé du toit.

Les poussières paraissent avoir joué le principal rôle dans cet accident; le grisou de fait exister en quantité très faible.

Comberedonde.

30 Août 1828).

Indications générales. — La couche Ste-Barbe, très accidentée et bouleversée par le voisinage de roches métamorphiques, dégageait une quantité notable de grisou.

Circstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient occupés à l'avancement d'une descendrière, destinée à établir une communication avec une galerie à travers-bancs située à un niveau inférieur. C'était le seul chantier de la mine Ste-Barbe qui fût en exploitation. L'un abattait le charbon, tandis que le deuxième le sortait au jour. S'étant rendus, pour y prendre du charbon éboulé, dans de vieux travaux abandonnés, ils mirent le feu, avec leurs lampes ordinaires, au gaz qui s'y était accumulé et furent tous deux brûlés. L'un d'eux mourut des suites de ses blessures.

Remarques particulières. — L'appât d'un salaire plus élevé était le mobile qui avait poussé les deux victimes à entrer dans les vieux travaux abandonnés; le charbon s'y trouvait en effet tout prêt à être enlevé.

Bien que la couche dégageât du grisou en assez grande abondance, les travaux en activité étant faits en descendant, les ouvriers étaient à l'abri des explosions du gaz qui, grâce à sa légèreté, pouvait se dégager librement du fond des travaux et s'échapper au dehors.

Un agent spécial aurait dû être chargé spécialement de la direction et de la surveillance de la mine de Ste-Barbe qui se trouvait loin du centre des travaux de Comberedonde.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Des recommandations ont été faites au maître-mineur de visiter tous les jours avec soin les travaux, de reconnaître avec la lampe de sûreté les chantiers infestés de gaz et de les condamner par des barrages en planches, de manière que les ouvriers fussent toujours avertis du danger d'aller au-delà des barrages.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN D'ALAIS.

6. — Concession

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
560	1846 22 Avril	Couche de Champclauson.	1 Asphyxié.	»	82	6445	Suspension de la ventilation dans une remontée en percement, par suite de l'obstruction de la galerie d'aérage par un éboulement.	Asphyxie par le grisou.	Imprudence de la victime qui avait pénétré, sans précaution, dans une remontée en cul-de-sac, remplie de grisou et abandonnée.
561	1850 27 Novembre.	Mine Lebohe	1 Brûlé	»	27	4395	Remontée abandonnée.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de la victime qui, malgré la défense, avait détamisée sa lampe pour entrer dans une remontée abandonnée.
562	1852 26 Avril	Couche de Champclauson.	1 Brûlé.	1 Brûlé légèrement.	30	2439	?	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de l'une des victimes qui avait détamisée sa lampe.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

de Comberedonde (suite).

OBSERVATIONS.	
11	
<p>Circonstances de l'accident. — Un éboulement ayant intercepté le courant d'air dans une galerie de niveau de la couche de Champclauson, le grisou s'était montré dans une remontée en percement dans ce niveau, en assez grande quantité pour que le travail y fût devenu impossible.</p> <p>Cette remontée était abandonnée depuis quelque temps, lorsqu'un ouvrier qui y avait travaillé, y pénétra pour prendre des outils qu'il y avait laissés. Il tomba asphyxié à quelques mètres de l'entrée, où il avait eu soin de laisser sa lampe. On ne s'aperçut de sa disparition que cinq heures après l'accident. Son cadavre ne put être retiré qu'avec beaucoup de peine.</p> <p>Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à faire clore, immédiatement après leur évacuation, les chantiers abandonnés</p>	
<p>Indications générales. — Les travaux de la mine Lebohe se composaient d'une galerie de roulage et d'écoulement des eaux, suivant la direction de la couche, et de plusieurs remontées suivant l'inclinaison. Ces remontées, pour la plupart anciennes et abandonnées, constituaient les chantiers d'extraction ; deux seulement étaient en activité.</p> <p>Le service des lampes était bien fait. Elles étaient remises aux ouvriers fermées à clef ; si une lampe s'éteignait, son propriétaire était obligé de sortir de la mine pour la rallumer. La clef des lampes était suspendue à l'entrée du bureau de l'administration. Tout ouvrier convaincu d'avoir détamisé sa lampe était renvoyé.</p> <p>Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers étaient occupés à charger du charbon dans un chantier. L'un d'eux eut l'idée d'entrer dans une remontée abandonnée, pensant y trouver du charbon éboulé avec lequel il achèverait de remplir sa caisse. Il se rendit dans cette galerie avec sa lampe de sûreté, qu'il avait détamisée pour y voir plus clair. A peine avait-il fait quelques pas, qu'une forte détonation se fit entendre. Ses camarades accoururent et le trouvèrent étendu, la poitrine et le dos horriblement brûlés. Il mourut quelques heures après</p> <p>Remarques particulières. — Malgré les mesures prises, certains ouvriers faisaient des clefs soit avec des morceaux de fer blanc, soit avec des petits os qu'ils travaillaient.</p> <p>La victime de l'accident devait posséder un instrument de ce genre, le tamis de sa lampe ayant été retrouvé dans son chantier</p>	
<p>Circonstances de l'accident. — Les travaux se composaient seulement d'une galerie de direction de 360^m de longueur, débouchant au jour, et d'une traverse commencée à 300^m du jour. Deux ouvriers travaillaient à l'avancement de la traverse. L'un d'eux était allé chercher un outil au front de taille de la galerie de direction, lorsqu'une explosion de grisou se produisit et le brûla mortellement. L'autre ouvrier, brûlé légèrement, put sortir de la mine.</p>	

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS

C. — Concession

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.			
563	1853 2 Avril.	Couche de Champcauson.	1 Brûlé.	»	13	2292	Remontée en cul-de-sac abandonnée à cause de l'abondance du gaz.	? Lampe de sûreté ayant une flamme trop longue.	Imprudence de la victime qui avait pénétré dans une remontée grisoueuse abandonnée.
564	1854 18 Septembre.	Mine Lebobe	1 Brûlé.	»	12	2419	Suspension de travail de 2½ heures dans une remontée en percement	Lampe de sûreté ouverte.	Imprudence de la victime, qui avait pénétré dans une remontée, après une suspension de travail, avec sa lampe de sûreté ouverte.
565	1854 15 Décembre.	Id.	» Brûlé.	1	50	6142	»	»	»

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

de Comberodonde (suite).

OBSERVATIONS.

11

Remarques particulières. — L'air arrivait dans la galerie de direction jusqu'au front de taille, revenait à 160^m en arrière dans des caisses en bois et s'échappait par une remontée d'aérage débouchant au jour à 28^m au-dessus du niveau.

L'acide carbonique, le grisou et un éboulement produit dans le niveau ne permirent d'atteindre la première victime qu'au bout de six jours. Sa lampe fut retrouvée détamisée. L'assemblage à vis qui réunissait le récipient au chassis n'était pas détérioré; ce qui a fait supposer que le treillis avait été enlevé avant l'explosion.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait au boisage d'une remontée partant de la galerie Lebobe et dans laquelle passait le courant d'air. Il entra dans une galerie en cul-de-sac, ouverte en montant dans cette remontée et abandonnée depuis un mois à cause de l'abondance du grisou. Une explosion se produisit et lui causa des brûlures peu graves, auxquelles il succomba cependant au bout de 8 jours.

Remarques particulières. — La lampe de sûreté de cet ouvrier était en bon état; mais il n'en avait probablement pas abaissé la flamme en s'engageant dans la remontée.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait dans un chantier de la mine Lebobe. Ayant besoin d'un coin, il pénétra, avec une lampe de sûreté détamisée, dans une remontée à l'avancement de laquelle on n'avait pas travaillé depuis vingt-quatre heures. Une explosion de grisou se produisit; l'ouvrier fut brûlé mortellement.

Remarques particulières. — Contrairement à un arrêté préfectoral du 15 mars 1846, les lampes de sûreté remises aux ouvriers n'étaient pas fermées à clef.

Circonstances de l'accident. — Pas de détails

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAR

G. — Concession

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
565	1878 10 Mai.	Puits de la Serre. — Couche Champclauson.	"	2 Brûlés assez grièvement.	?	?	Crevasse au toit d'une remontée en percement.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence des ouvriers qui avaient tiré un coup de mine, malgré la défense qui leur en avait été faite.

7. — Concession

(Instituée par décret

567	1858 1 ^{er} Juin.	?	"	1 Brûlé.	210	36360	"	"	"
568	1859 9 Juillet.	Puits Terret — Couche du Mur. — Niveau Nord.	"	2 Brûlés assez grièvement	235	41223	Galerie de niveau en cul-de-sac dont les 42 derniers mètres n'étaient aérés que par diffusion Ralentissement de l'aérage par	Flamme d'un coup de mine.	"

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

de Comberdondé (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage se faisait naturellement entre les puits Auzonnet et de la Serre dont les orifices présentaient une différence d'altitude de 119^m.

Pour des travaux peu développés, la ventilation était suffisante; la distribution du courant était bonne.

Circonstances de l'accident. — Les travaux de traçage effectués dans la couche Champclauson, au puits de la Serre, étaient encore peu étendus. Deux ouvriers travaillaient à l'avancement d'une remontée de 4^m50 de longueur, aérée au moyen d'un ventilateur établi dans le courant d'air et d'une colonne de tuyaux de 0^m20 de diamètre, arrivant à 3^m du front de taille.

Ces deux ouvriers, malgré la défense qui leur en avait été faite, préparèrent un coup de mine à la couronne du chantier, le bourrèrent avec du menu fin et sec et, après l'avoir allumé, se retirèrent à dix mètres de la remontée. Le coup partit en débouillant et enflamma une petite quantité de grisou accumulée dans les crevasse du toit. Les flammes atteignirent les deux ouvriers et leur causèrent des brûlures assez graves.

Remarques particulières. — Deux heures avant l'accident, le chef de poste avait fait la visite du chantier, et malgré l'absence du grisou, avait renouvelé aux ouvriers la défense de tirer des coups de mine.

de Lalle.

du 30 Avril 1828).

Pas de détails.

Indications générales. — L'air entra par le puits Terret et passait dans les travaux de l'Ouest, pour se diriger vers la mine Ste-Hortense, de sorte que les travaux de l'Est n'étaient aérés que par diffusion.

Circonstances de l'accident. — A l'est du puits Terret, les travaux dans la couche du mur se composaient d'un travers-banc de 12^m de longueur et de deux niveaux en percement, l'un au nord, de 30^m de longueur; l'autre, au sud, de 40^m. Deux ouvriers, travaillant à l'avancement du niveau nord, avaient allumé un coup de mine préparé dans le sol de la galerie, à 1^m50 du front de taille, et s'étaient éloignés vers l'entrée du niveau

STATISTIQUE DES
 A. — MINES DE HOUILLE

 1. — BASSIN D'ALLAN
 5. — Concession

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes directes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	
						Tonnes.			
							l'effet de la chaleur excessive qui régnait au jour.		
559	1864 8 Février	Puits Terret. — Couche du Mur	»	1	295	59708	Interruption du travail pendant un jour de chômage, dans une remontée en percement, aérée seulement par diffusion	Flamme d'une lampe de sûreté chassée hors du treillis, par suite de l'agitation de l'air.	Imprudence de la victime qui n'avait pas suivi les instructions du maître-mineur.
570	1873 30 Décembre.	Id — Couche Sainte-Yllide	2	»	210	60027	Rencontre d'une faille par un niveau en percement	Flamme d'une lampe Davy chassée, par l'effet d'un mouvement brusque, hors du treillis qui avait rougi	Imprudence de l'une des victimes qui, voyant rougir sa lampe, l'avait jetée hors de lui et en avait ainsi fait sortir la flamme

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

 a. — Département du Gard.
 de Lalle (suite).

OBSERVATIONS.	
11	
<p>Le départ du coup de mine fut accompagné d'une explosion de grisou, l'un des ouvriers fut brûlé assez grièvement et l'autre légèrement.</p> <p>Remarques particulières. — Une heure avant l'accident, l'ingénieur de la mine et le maître-mineur avaient visité le chantier et n'avaient pas vu de trace de gaz.</p> <p>Le grisou devait être d'ailleurs en assez petite quantité, car les bois du niveau ne portaient aucune trace de l'explosion.</p> <p>La chaleur excessive qui régnait depuis quelques jours, avait pu, en affaiblissant le courant d'air, contribuer dans une certaine mesure à l'accumulation du gaz.</p> <p>Mesures prises à la suite de l'accident. — Un ventilateur à bras a été établi pour aérer le niveau Nord, la seule galerie où la présence du grisou eût été constatée.</p>	
<p>Circonstances de l'accident. — Un maître mineur, faisant sa tournée du lundi matin avant l'entrée des ouvriers, avait reconnu la présence d'une petite quantité de grisou dans une remontée en percement ayant 3^m50 de longueur et 4^m30 de largeur. Il avait donné l'ordre à l'ouvrier qui travaillait dans cette remontée de l'élargir, afin qu'on pût y placer un tuyau d'aérage.</p> <p>L'ouvrier, en arrivant à son chantier, posa sa lampe à terre à l'entrée de la remontée, suspendit à un cadre sa boîte à cannettes et se mit à agiter l'air avec sa chemise. Dans son mouvement, il atteignit la boîte à cannettes, qui tomba à terre.. Au même instant, une petite explosion eut lieu. L'ouvrier fut brûlé légèrement, plutôt par l'inflammation de la poudre que par celle du gaz.</p> <p>Remarques particulières. — L'agitation de l'air produite par l'ouvrier, ou par la chute de la boîte à cannettes, a probablement fait sortir, hors du treillis, la flamme de la lampe de sûreté.</p>	
<p>Indications générales. — L'aérage du niveau de 80 mètres de la couche Sainte-Yllide se faisait entre la galerie de la Bondane et le puits incliné Saint-Henri, dont la colonne était chauffée par des conduites de vapeur. Le courant n'aérait que deux chantiers avant d'arriver dans la galerie inférieure de direction ; au sortir de cette galerie, il se dirigeait, par un travers-bancs, vers le niveau de 80 mètres de la couche Sainte-Barbe, en communication avec le puits Saint-Henri.</p> <p>Le volume d'air de 4^m3,750 par seconde, qui parcourait ces travaux de traçage, était bien suffisant pour les aérer.</p> <p>Circonstances de l'accident. — Dans la couche Sainte-Yllide encore en traçage, on poussait vers le Sud, au niveau de 80^m, deux niveaux conjugués. Le niveau supérieur avait été arrêté à l'aplomb de la Cèze, pour ne pas passer sous cette rivière à une trop faible distance au-dessous de son lit. On avait continué la galerie inférieure en la murillant, depuis, et en l'aérant au moyen d'un ventilateur à bras et d'une colonne de tuyaux ; elle se trouvait déjà à une centaine de mètres, dans un dérangement, lorsqu'elle rencontra une faille dégageant beaucoup de grisou. Le travail fut arrêté, et l'on commença à 146^m du</p>	

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIN

3. — Concession

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tnés.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
571	1874 26 Janvier.	Puits Terret. — Couche Sainte-Yllide.	2 Asphyxiés.	»	290	6080	Remontée en percement abandonnée et barrée, dont la cloison d'aérage, non entretenue, laissait filtrer l'air	Asphyxié par le grisou.	Imprudence des victimes qui avaient pénétré dans une remontée abandonnée.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

de Lalle (suite).

OBSERVATIONS

11

front de taille une cloison d'aérage horizontale, à 0^m50 du toit. Cette gaine arrivait à 10^m du front. L'un des deux ouvriers qui travaillait à sa construction, s'étant rapproché du front de taille et voyant rongir sa lampe Davy, la lança à quelques mètres de lui. Une explosion se produisit aussitôt et les deux ouvriers furent mortellement brûlés.

Remarques particulières. — L'explosion ne fut pas très forte ; la cloison fut démolie en plusieurs endroits, mais sans grandes projections.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les ouvriers ont été munis de lampes Mueseler.

Indications générales. — L'aérage du niveau de 170^m de la couche Sainte-Yllide se faisait entre les puits Sainte-Hortense et Saint-Henri, dont les orifices étaient à la même hauteur mais dont les températures étaient très différentes.

Le premier servant à l'épuisement par bennes, était constamment rafraîchi par une pluie d'eau froide, le second au contraire, contenait des conduites de vapeur et se maintenait constamment à une température élevée.

Le courant aérat d'abord les deux galeries conjuguées du niveau de 170 mètres de la couche Sainte-Yllide, puis gagnait la couche Sainte-Barbe, où il aérat aux niveaux de 170 et de 80 mètres.

Le parcours des deux remontées conjuguées, de 110 mètres de longueur, dans la couche Sainte-Yllide, créait un obstacle sérieux au courant d'air, qui ne s'établissait, en somme, qu'en vertu d'une force assez faible.

Circonstances de l'accident. — Une remontée en percement au niveau de 170^m dans la couche Ste-Yllide, inclinée à 45° et encore en traçage, avait dû être abandonnée à 25^m d'avancement, à cause de l'affluence du grisou, et cela bien qu'elle fût divisée par une cloison et qu'on eût employé un ventlateur à bras pour l'aérer. Elle était barrée depuis huit jours. Le chef de poste, en faisant sa tournée, y pénétra avec un ouvrier pour la toiser, ou pour compter les bois qu'on y avait placés. Tous deux tombèrent asphyxiés à 14^m de l'entrée ; leurs cadavres ne furent retrouvés que deux heures après.

Remarques particulières. — Le chef de poste avait placé lui-même le barrage à l'entrée de la remontée.

La cloison était construite en planches superposées ; les joints avaient été rendus étanches au moyen d'un bourrelet d'argile. Ces joints n'ayant pas été entretenus depuis huit jours, devaient laisser passer l'air et la partie supérieure de la remontée n'était plus aérée.

Après l'accident, on a constaté que dans le retour d'air de la remontée, le courant, bien que vif, n'amenait pas de grisou.

La forte inclinaison de la couche et la grande venue d'eau rendaient impossibles les percements en descente.

L'examen des lampes des deux victimes a montré qu'elles s'étaient éteintes sans que le gaz eût brûlé à l'intérieur

Mesures prises à la suite de l'accident. — Le travail a été interrompu dans la couche Ste-Yllide, à l'étage de 170^m, jusqu'à ce que le niveau de 80^m eût rencontré les remontées conjuguées qui étaient arrivées à sa hauteur et que la communication eût été ainsi établie entre les deux étages.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIE D'ALAIS

2. — Concession

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
572	1874 7 No- vembre.	Puits Terret. — Couche N° 1	1 Brûlé	»	290	60080	?	?	Imprudence de la victime qui avait ouvert sa lampe de sûreté.
							Ouverture d'un soufflard dans une remontée en percement. ou Ralentissement de l'aérage par suite de l'accumulation du charbon au bas de cette galerie.	Lampe de sûreté ouverte ou Traînée de poudre allumée pour mettre le feu au grisou.	
573	1880 16 Mars.	Niveau de 160 ^m .	1 Brûlé.	1 Brûlé.	290	60082	Trouble apporté dans la ventilation d'une cheminée en percement par l'ouverture du clapet d'une porte d'aérage.	Lampe de sûreté détamisée	Inadvertance de l'une des victimes qui avait laissé ouvert le clapet d'une porte d'aérage. Imprudence des victimes, qui s'étaient servis d'une lampe dont le tamis métallique avait été enlevé.

3. — GROUPE DU GARD

a. — Département du Gard.

de Lalle (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage des trois couches St-Henri, N° 1 et N° 2 se faisait en vertu de la différence de température des puits Terret et St-Henri. Grâce à la grande section des galeries, le volume d'air pouvait être suffisant, mais la dépression produite était faible et les résistances rendaient en certains points l'aérage imparfait.

Circonstances de l'accident. — On perçait une remontée très inclinée entre les niveaux de 130 et de 120^m, dans la couche N° 1. Cette remontée, de 10^m de longueur, était divisée par une cloison d'aérage en planches, arrivant à 2^m de l'extrémité. Une explosion de grisou s'étant produite dans ce chantier, l'ouvrier qui y travaillait fut mortellement brûlé.

Remarques particulières. — La branche de courant qui aérage la partie de la couche N° 1 dans laquelle l'accident s'est produit, suivait un trajet compliqué qui augmentait beaucoup les résistances. L'explosion, assez violente, brisa une porte d'aérage à 30^m de la remontée et en renversa une autre 5^m plus loin.

La présence du gaz dans un chantier où on ne l'avait pas encore rencontré et où il ne s'en trouvait plus après l'accident, a été attribuée soit à un soufflard, soit à un ralentissement dans l'aérage, résultant de l'accumulation du charbon au bas de la remontée; il a fallu en effet déblayer l'entrée de cette remontée pour y pénétrer après l'explosion.

La lampe Mueseler de la victime fut retrouvée ouverte. Une odeur de poudre, constatée dans le chantier après l'accident, a fait penser que cet ouvrier avait peut-être voulu se débarrasser du grisou au moyen d'une traînée de poudre qu'il aurait allumée avec sa lampe ouverte.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Un ventilateur à force centrifuge a été établi pour assurer l'aérage de tous les travaux de la mine de Lalle. Son débit, de 14^m³, correspondait à une extraction journalière de 130 tonnes de charbon.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient dans une cheminée, dont l'aérage se trouvait assuré par un galandage la divisant en deux compartiments. Une porte forçait le courant d'air d'un niveau inférieur à monter dans la cheminée par l'un des compartiments et à redescendre par l'autre; un clapet, ménagé dans cette porte, permettait la circulation des ouvriers.

Le matin, le maître-mineur et le chef de poste, en visitant le chantier, avaient donné l'ordre aux deux mineurs d'allonger immédiatement la cloison d'aérage, dont l'extrémité avait été laissée à une trop grande distance du front de taille. Ceux-ci ne tinrent aucun compte de cette observation.

L'un d'eux étant allé chercher plus tard des bois dans le couloir d'entrée de l'air avait, au retour, négligé de fermer le clapet de la porte d'aérage. Enfin le chantier était éclairé par une lampe de sûreté détamisée, qui se trouvait accrochée à l'extrémité. Une inflammation de grisou se produisit et brûla les deux ouvriers, dont l'un mortellement.

Remarques particulières. — L'explosion fut insignifiante; les bois et le galandage du chantier furent retrouvés en parfait état.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS

7. — Concession

Nos d'ordre 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7 Tonnes.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	

8. — Concession

(Instituée par décret du

574	1871 21 No- vembre.	Couche Salze.	1 Brûlé légère- ment.	150	43615	Descenderie en- vahie par les eaux et obstruée au milieu par un éboulement.	Lampe de sûreté dont le treillis était percé par un coup de pic.	Négligence des agents chargés de la direction du travail, qui en- sent dû défendre à la victime de pénétrer dans une galerie suspecte, et faire relever l'éboulement qui obstruait celle-ci. Imprudence de la victime, qui s'é- tait engagée dans la descenderie a- vec une lampe de sûreté en mauvais état.
575	1874 10 Jan- vier.	Couche du Chauvel. — Banc in- férieur.	2 Brûlés dont 1 griève- ment.	142	42030	Suspension de travail dans une galerie en cul-de- sac, aérée seule- ment par diffu- sion et située au voisinage d'une partie dérangée la couche.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de la principale vic- time qui avait é- tamisé sa lampe.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

de Lalle (suite).

OBSERVATIONS

11

On a constaté que lorsque le clapet était fermé, il passait au sommet de la cheminée un courant d'air très vif et que le grisou n'y marquait nullement à la lampe.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à prendre des mesures spéciales de surveillance pour empêcher les ouvriers de faire usage de lampes détamisées.

de Cessous et Trébiau.

du 30 Août 1828).

Indications générales. — L'aérage des travaux peu développés de la couche Salze se faisait naturellement entre un puits et trois galeries débouchant au jour. Le courant d'air était très bon et bien distribué.

Circonstances de l'accident. — On perçait une galerie de niveau vers la partie inférieure d'une descenderie envahie par les eaux depuis deux mois et obstruée par un éboulement. On avait fait évacuer l'eau au moyen d'un trou de sonde et un ouvrier achevait le percement.

Dès qu'il eut fait un trou suffisant pour son passage, il pénétra dans la descenderie pour y prendre des outils qu'il y avait laissés deux mois auparavant. En approchant de l'éboulement, sa lampe, dont il avait pendant son travail, percé le treillis d'un coup de pic, détermina l'explosion du grisou qui était accumulé dans la partie inférieure de la descenderie.

L'ouvrier fut brûlé légèrement.

Remarques particulières. — On aurait dû défendre à la victime de pénétrer dans la descenderie.

Indications générales. — L'aérage se faisait naturellement sous l'influence d'une dénivellation de 44^m entre les deux orifices de la mine.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient à l'avancement d'une galerie de 12^m de longueur et de 1^m20 de hauteur, partiellement en descente et aérée seulement par diffusion.

Le matin de l'accident, la présence d'une petite quantité de grisou s'était manifestée dans ce chantier par l'épanouissement de la flamme des lampes de sûreté dont étaient munis les deux mineurs.

Au bout de peu de temps, le gaz avait disparu et le chef de poste, dans sa visite de l'après-midi, n'en avait trouvé aucune trace.

L'un des mineurs, revenant au chantier après son dîner, commit l'imprudence de placer sa lampe détamisée, sur le sol, à 2^m de l'entrée de la galerie, et de s'avancer ensuite vers le front de taille. Une inflam-

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALLAS

S. — Concession de

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes.			
576	1874 3 Mars.	Couche Chauvel.	»	2 Brûlés assez grièvement.	142	42030	Suspension de travail dans une galerie en cul-de-sac insuffisamment ventilée.	?	Imprudence des victimes, qui avaient pénétré dans leur chantier, qu'elles avaient rempli de grisou, avant de l'avoir purgé à l'aide d'un ventilateur ainsi qu'elles en avaient l'ordre.
577	1877 19 Février.	Id.	1 Brûlé.	2 Brûlés grièvement.	125	41508	Suspension de travail d'une journée dans une remontée en cul-de-sac.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence des victimes qui avaient pénétré, malgré la détamisation, dans une remontée grisou-teuse.

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

Cessous et Trébiau (suite).

OBSERVATIONS.

41

mation de gaz se produisit et lui fit de graves brûlures ; son compagnon, qui se trouvait dans la voie de passage de l'air, fut également atteint.

Il n'y eut ni explosion proprement dite, ni dégâts matériels.

Remarques particulières. — Dans la région de l'accident, la couche était complètement dérangée par des rejets et des tailles. Les travaux étaient tout à fait irréguliers et le grisou s'y montrait souvent. On avait dû, pour ce fait, abandonner provisoirement certains chantiers suffisamment aérés.

La disposition du chantier où a eu lieu l'accident, était mauvaise, le chantier était tortueux, bas et aéré seulement par diffusion.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été mis en demeure de produire un projet d'amélioration de l'éclairage général des travaux.

Des poursuites judiciaires ont été exercées contre le mineur dont l'imprudence a occasionné l'accident.

Indications générales. — Grâce aux nombreuses communications existant entre les chantiers dans cette région, l'aérage qui se faisait naturellement, était assez bon, bien que ces chantiers fussent étroits et tortueux. Cependant le courant d'air se renversait quelquefois.

Le grisou se montrait souvent en abondance et certains chantiers avaient dû être provisoirement abandonnés par suite de l'insuffisance de l'aérage.

Les lampes de sûreté étaient remises en bon état aux ouvriers et vissées à fond.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers devaient travailler à l'avancement d'une galerie de niveau de 13^m de longueur, aérée par une colonne de tuyaux.

Lorsqu'ils arrivèrent dans leur chantier pour remplacer, après un intervalle de temps assez long, leurs camarades du poste précédent, ils y constatèrent la présence du grisou. Ils allèrent prévenir de ce fait le maître mineur, qui leur donna l'ordre d'adapter à la colonne de tuyaux un petit ventilateur à bras. Cette opération terminée, et avant d'avoir mis le ventilateur en mouvement, les deux ouvriers pénétrèrent dans le chantier et mirent le feu à une petite quantité de grisou qui les brûla assez grièvement.

Il n'y eut ni explosion, ni dégâts matériels.

Remarques particulières. — On a retrouvé sur le lieu de l'accident, la lampe de sûreté de l'une des victimes portant, en haut, une légère déchirure de fraîche date. On a également trouvé à l'avancement une clef de bois servant évidemment à ouvrir les lampes.

Indications générales. — En hiver, l'aérage se faisait naturellement. L'air entraînait par la galerie de Cornas, se répartissait entre les six quartiers de la mine, au moyen de portes à guichet et sortait par différents orifices ménagés dans les affleurements.

En été, un ventilateur Lemielle envoyait de l'air dans la galerie de Cornas. Le courant d'air était suffisant et sa distribution généralement bonne.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIN

S. — Concession

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

9. — Concession

(Instituée par décret

578	1874 2 Mai.	Mine de la Cleyde.	»	2 Brûlés légèrement.	?	?	Cloche produite par un éboulement au toit d'une galerie de niveau.	Flamme d'une lampe de sûreté qui avait passé hors du treillis, par suite de l'inclinaison qu'on avait donnée à cette lampe	Maladresse de l'une des victimes, qui avait introduit, en la tenant inclinée, sa lampe de sûreté dans une cloche d'éboulement.
-----	----------------	--------------------	---	-------------------------	---	---	--	--	--

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

de Cessous et Trébiau (suite).

OBSERVATIONS.

41

Circonstances de l'accident. — Le grisou s'était accumulé pendant une journée de chômage, dans une remontée en percement de la couche Chauvel. Quatre heures de marche du ventilateur, qui envoyait de l'air à la partie supérieure de la remontée au moyen d'une colonne de tuyaux, n'avaient pas suffi à le chasser. Le chef de poste défendit l'entrée de ce chantier aux ouvriers qui devaient y travailler. Malgré cette défense et contrairement au règlement de la mine, trois ouvriers pénétrèrent dans la remontée et déterminèrent, deux heures après, une inflammation de grisou qui les brûla grièvement; l'un d'eux mourut des suites de ses brûlures.

Remarques particulières. — Dans la remontée où s'est produit l'accident, l'aéragé laissait à désirer, puisqu'après quatre heures de marche du ventilateur le grisou n'avait pas encore été chassé.

L'air envoyé par le ventilateur arrivait à la partie supérieure de la remontée, redescendait, aérifiait une seconde remontée et s'échappait à travers les remblais d'anciens travaux communiquant avec des voies qui débouchaient au jour.

Après l'accident, deux des lampes de sûreté des victimes furent retrouvées dévissées; l'une d'elles était même complètement détamisée.

des Pinèdes.

du 13 Janvier 1855).

Indications générales. — L'aéragé se faisait naturellement entre un travers-bancs et une cheminée d'aéragé, par suite d'une différence de niveau de 52^m.

Circonstances de l'accident. — Les travaux de la Cleyde étaient peu développés; ils se composaient d'un travers-bancs ayant rencontré deux couches de houille et de quelques galeries poussées dans ces couches.

Deux ouvriers, se rendant à leur travail, constataient un éboulement de 2^m de longueur sur 0^m80 de hauteur, au toit d'une galerie de niveau où passait le courant d'air. L'un d'eux, voulant examiner la cloche produite, y introduisit sa lampe de sûreté en la tenant inclinée; il enflamma une petite quantité de grisou qui y était accumulée. Les deux ouvriers furent brûlés légèrement.

Remarques particulières. — Le volume d'air était suffisant. Le prolongement du niveau dans lequel l'accident s'est produit n'était aéré que par diffusion sur 35^m de longueur.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN D'ALAIS

D. — Concession

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
579	1880 4 Août.	?	»	1 Brûlé grièvement.	?	?	Fissure produite sur la paroi d'un chantier, par l'enlèvement d'une languette de schiste de quelques millimètres d'épaisseur. Accumulation d'une petite quantité de gaz au fond d'une traverse aérée simplement par diffusion.	Lampe de sûreté détamisée.	Imprudence de la victime qui avait persisté à travailler dans un chantier qu'elle savait grisoueux et qui, de plus, avait commis la faute d'enlever le tamis de sa lampe. Négligence du chef de l'exploitation qui aurait dû visiter lui-même chaque matin, les chantiers avant l'arrivée des ouvriers, et assurer de meilleures conditions de ventilation à la traverse où s'est produit l'accident.

10. — Recherches de

580	1880 2 Mars.	Travaux de recherches. — Galerie Mireur.	»	1 Brûlé assez grièvement.	»	»	Chômage d'une heure et demie à l'avancement d'une galerie montante de 4 ^m de longueur en cul-de-sac, aérée seulement par diffusion.	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime qui, ayant reconnu la présence du grisou, avait néanmoins persisté à se servir de sa lampe à feu nu.
-----	-----------------	--	---	------------------------------	---	---	--	-----------------	---

ACCIDENTS DE GRISOU.

3. — GROUPE DU GARD.

a. — Département du Gard.

des Pinèdes (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage était très insuffisant et défectueux.

Circonstances de l'accident. — On pratiquait une galerie de recherches en descente, en contrebas du niveau de roulage et de sortage. Un piqueur et un rouleur étaient occupés à ce travail.

Au bas de la descente, se trouvait un bout de traverse qui y débouchait à angle droit. Le piqueur ayant besoin de sa pioche, qu'il avait laissée dans la traverse, s'approcha du fond avec sa lampe de sûreté qu'il avait détamisée. Une flambée de gaz se produisit qui le brûla assez grièvement. Son camarade, qui se trouvait au haut de la descente, près de la galerie de sortage, ne ressentit qu'un fort coup de vent. Le blessé put regagner seul son domicile.

Remarques particulières. — On a retrouvé séparément le tamis et la lampe de la victime, près du fond de la traverse, à 3^m de distance l'un de l'autre.

La victime avait reconnu, depuis plusieurs jours, la présence du grisou dans son chantier. Le gaz se dégageait d'une petite excavation produite, sur le parement du chantier, par l'enlèvement d'une languette de schiste de quelques millimètres d'épaisseur. Plusieurs fois, en inclinant sa lampe pour en rougir le tamis et en faire sortir la flamme, le piqueur avait mis le feu à ce soufflard qui brûlait quelques instants, à la manière d'un bec de gaz.

Le règlement de la mine défendait formellement aux ouvriers de travailler dans un chantier où la présence du grisou avait été signalée.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Un arrêté préfectoral a mis les concessionnaires de la mine des Pinèdes en demeure de faire connaître les mesures préventives qu'ils comptaient prendre pour assurer le bon aérage de leurs travaux et y prévenir le retour d'accidents semblables.

Le chef de l'exploitation a été de plus invité à faire cesser tout travail en aval de la galerie de sortage, jusqu'à ce qu'un bon aérage y eût été établi et à faire, le lendemain des jours de chômage, une inspection minutieuse des chantiers avant l'arrivée des ouvriers.

Collobrières.

Indications générales. — Les chantiers avoisinant la galerie de roulage étaient mal aérés.

Circonstances de l'accident. — Après le repas habituel de midi et demi, un ouvrier venait de reprendre son travail dans une montante de 4^m, ouverte dans la galerie de roulage. Il fut assez grièvement brûlé par une petite inflammation de grisou provoquée par sa lampe à feu nu.

Remarques particulières. — La victime s'était déjà aperçue, auparavant, de la présence d'une petite quantité de grisou dans la remontée; néanmoins elle avait négligé de se servir d'une lampe de sûreté.

Mesures prises à la suite de l'accident. — L'entrepreneur des travaux a été invité à exiger l'emploi des lampes de sûreté dans tous les chantiers avoisinant la galerie de roulage.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN D'ALAIS.

1. — Concession de

(Instituée par décret

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
51	1879 18 Août.	Mine de la Panse du Lum.	»	1 Brûlé légèrement.	61	650 Tonnes.	Interruption du travail, pendant la journée du Dimanche, dans une remontée en cul-de-sac, aérée seulement par diffusion, dont l'entrée était obs- truée par des dé- blais, et dont l'avancement venait d'atteindre le charbon, en un point, où la couche formait un fond de bateau.	Flamme d'une lampe de sûreté sortie hors du treillis par suite d'un mouve- ment brus- que imprimé à cette lampe.	Négligence de la part d'un ou- vrier qui, ayant constaté la pré- sence du grisou le samedi soir, n'en avait pas averti le maître- mineur. Manque de sang- froid de la part du maître-mineur qui, voyant sa lampe remplie de flammes, l'avait lâchée et laissée tomber à terre.

Fin du Groupe

3. — GROUPE DU GARD.

b. — DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE.

Sallefermouse et Pigère.

du 10 Juillet 1832).

OBSERVATIONS.

41

Indications générales. — Dans la mine de la Panse-du-Lum, on avait quelquefois rencontré le grisou dans une galerie au rocher, mais jamais dans les galeries et chantiers au charbon.

Circonstances de l'accident. — Un maître-mineur faisait, le lundi matin, la visite des chantiers avant l'arrivée des ouvriers. Il voulut reconnaître l'avancement d'une remontée au rocher, qui avait atteint le charbon le samedi précédent. Il en débarassa l'entrée, qui était encombrée de déblais, et pénétra avec sa lampe de sûreté dans la galerie. Il élevait celle-ci vers le toit pour l'examiner, lorsqu'il la vit se remplir de flammes. Effrayé, il fit un mouvement brusque dans lequel sa lampe lui échappa des mains et tomba à terre. La remontée fut immédiatement envahie par la flamme. Le maître-mineur se jeta à terre et parvint à sortir du chantier. Il n'était que légèrement bûlé.

Remarques particulières. — La remontée où l'inflammation s'est produite avait 4 mètres de longueur et était éloignée de 20 mètres du courant d'air. Elle avait atteint, le samedi précédent, dans la soirée, la deuxième couche, en un point où cette dernière formait un fond de bateau; ce qui pouvait expliquer un dégagement abondant de gaz.

Il n'y a pas eu de détonation, mais une simple flambée de gaz.

La lampe de la victime a été retrouvée dans un état irréprochable.

L'ouvrier qui travaillait dans ce chantier pendant la soirée du samedi précédent, a avoué que sa lampe y marquait. Il n'avait pas prévu de ce fait le maître mineur.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à ne pas continuer le percement de la remontée avant d'avoir installé un petit ventilateur spécial pour l'aérer.

du Gard.

(La suite à une prochaine livraison).

ÉTUDE

SUR LES

EAUX MINÉRALES DE CHATEL-GUYON

Par M. CAMÉRE, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

CHAPITRE I^{er}.OBSERVATIONS SUR LA NATURE DES EAUX ET LEUR
MODE D'ÉMERGENCE.*Situation topographique et géologique des eaux.* —

La station thermale de Châtel-Guyon est située dans la vallée de l'Allier, sur la limite occidentale du bassin de la Limagne, à 5 kilomètres de Riom, dans la direction nord-ouest.

Le village, bâti sur un mamelon dépendant des derniers contreforts du massif des Puys, domine, au nord, la vallée du Sardon, petit torrent dans le lit et sur les rives duquel jaillissent les eaux minérales qui font la richesse de cette station.

Au point de vue géologique le cours de ce torrent traverse, depuis son origine jusqu'au droit du village de Châtel-Guyon, des terrains primitifs, abstraction faite des alluvions quaternaires peu importantes et des travertins en faibles masses qui recouvrent, en certains points, le fond de la vallée; et, à partir de ce village jusqu'à son confluent dans la Morge, affluent de l'Allier, des terrains sédimentaires: grès, sables et marnes appartenant à l'époque tertiaire (miocène inférieur).

A part quelques suintements peu importants, toutes les sources minérales émergent dans une zone s'étendant

sur 500 mètres en amont du village, et, en conséquence, exclusivement dans les terrains primitifs, mais surtout dans le voisinage de leur contact avec les terrains tertiaires. Dans cette zone la roche non altérée est un granite d'un joli aspect, offrant, comme coloration, un mélange de rose et de vert dans laquelle l'une ou l'autre de ces teintes arrive quelquefois à dominer seule. Ce granite, quoique fort dur, est généralement très décomposé dans le voisinage des sources, au point d'arriver à un état complet de désagrégation. Il présente alors des teintes blanchâtres, noirâtres et couleur de rouille.

Comme éléments, ce granite comprend du mica noir décomposé, de l'oligoclase, de l'orthose, du quartz et de la chlorite secondaire. La variété rose est une granulite presque exclusivement feldspathique composée d'oligoclase, d'orthose et de quartz peu abondant.

De nombreux filons traversent ce granite, les uns sont formés de quartz dans lesquels on trouve quelquefois des traces de pyrite de cuivre, et les autres d'aragonite.

La plupart du temps, les points d'émergence des sources sont accompagnés de dépôts de travertins de formation, soit ancienne, soit moderne; mais, sur quelques points, et notamment dans le lit du Sardon, il n'est pas rare de voir ces eaux jaillir directement de la roche tenue constamment nette par l'écoulement des eaux pluviales, ou au contact de cette roche et des alluvions quaternaires lesquelles, ainsi que nous l'avons vu plus haut, remplissent, sur plusieurs points, le fond de la vallée.

Indication des principales sources. — En partant de Châtel-Guyon et en remontant le Sardon, on rencontre une première zone de terrain aquifère qui s'étend sur les deux rives de ce cours d'eau et dans laquelle surgissent, en ne s'arrêtant qu'à celles qui ont été captées, les sources suivantes (voir pl. IV):

NOMS DES SOURCES.	DÉBIT à la minute.	TEMPÉ-RATURE centigr.	OBSERVATIONS.
<i>Rive gauche.</i>			Renseignements fournis par l'établissement thermal.
Source du Rocher	litres 3,00	degrés 24,0	
Source du Gargouilloux n° 1	13,00	23,5	
Source du Gargouilloux n° 2	19,00	32,5	
Source du Sopinet n° 1	63,00	33,0	
Source du Sopinet n° 2	15,00	20,4	
Source du Réservoir n° 1	7,00	32,0	
Source du Réservoir n° 2	2,00	31,0	
Source de la Planche	4,00	24,0	
Source Duclos	275,00	32,0	
<i>Rive droite.</i>			Découverte en 1881 en faisant des fouilles pour établir l'annexe du Grand hôtel des Bains.
Source Deval	63,00	32,1	
Source du Chaume	50,00	29,5	

A 100 mètres environ en amont de cette première zone, il en existe une deuxième donnant naissance aux sources principales dont les noms suivent :

NOMS DES SOURCES.	DÉBIT à la minute.	TEMPÉ-RATURE centigr.	OBSERVATIONS.
<i>Rive gauche.</i>			Renseignements fournis par l'établissement thermal.
Source Marguerite	litres 9,50	degrés 35,0	
Source du Sardon	1,00	16,0	
Source Caméré	132,00	34,0	
Source Champagne	"	"	
<i>Lit du Sardon.</i>			Captages exécutés en 1881-1882. Source tarie par les travaux ci-dessus.
Source du Gouffre	10,80	"	
Source Baraduc	11,40	"	
Source Audouy	4,80	"	
Source Rollin	6,40	"	
<i>Rive droite.</i>			Captages exécutés en 1881 et 1882 dans le hangar de l'embouteillage. Avant les nouveaux travaux.
Source de la Vernière n° 1	7,00	27,5	
Source de la Vernière n° 2	2,00	26,1	
Sources diverses	"	"	
Source Gubler	150,00	32,0	

Enfin en remontant encore le Sardon sur 200 mètres, on trouve une nouvelle zone de terrain aquifère dans laquelle ont été découvertes ou mises en usage, en 1882,

différentes sources, parmi lesquelles nous citerons les sources de Henry, du pré Chaput, Romaine, Henriette et Saint-Georges.

Composition des eaux. — D'après les analyses faites en 1879 à l'École des mines pour deux des principales sources, les eaux de Châtel-Guyon renferment, par litre, les matières suivantes :

	Source Deval.	Source du Sardon.
Résidu fixe par litre	5 ^{fr} ,9120	5 ^{fr} ,3970
Acide carbonique libre	1 ^{fr} ,2188	1 ^{fr} ,1718
Acide carbonique des bicarbonates	1 ,8128	1 ,8102
Acide chlorhydrique	2 ,1844	2 ,1768
Acide sulfurique	0 ,2952	0 ,3021
Silice	0 ,1080	0 ,1120
Protoxyde de fer	0 ,0114	0 ,0151
Chaux	0 ,9605	0 ,9711
Magnésie	0 ,6525	0 ,6150
Potasse	0 ,1137	0 ,1021
Soude	1 ,2027	1 ,2454
Lithine	0 ,0088	0 ,0070
Acide arsénique	Traces très faibles.	Traces très faibles.
Matières organiques	Traces.	Traces.
Total	8 ^{fr} ,5678	8 ^{fr} ,5286

En partant de ces analyses et au point de vue des sels qu'elles renferment par litre, la composition des eaux de Châtel-Guyon peut, d'autre part, être établie ainsi :

	Source Deval.	Source du Sardon.
Acide carbonique libre	1,2188	1,1728
Silice	0,1080	0,1120
Bicarbonate de chaux	2,4697	2,4971
Bicarbonate de magnésie	0,4215	0,3866
Bicarbonate de protoxyde de fer	0,0265	0,0335
Sulfate de soude	0,5215	0,5262
Chlorure de magnésium	1,2168	1,1569
Chlorure de sodium	1,8436	1,9709
Chlorure de potassium	0,1798	0,1617
Chlorure de lithium	0,0250	0,0200
Arséniate de soude	traces	traces
Matières organiques	traces	traces
Total	8,0312	8,0367

Lois d'émergence des eaux. — Bien qu'au premier abord l'émergence des sources minérales dont nous nous occupons ne paraisse obéir à aucune loi, et qu'il puisse

paraître suffisant, comme le pensent les gens du pays, d'ouvrir une fouille, n'importe où, dans le granite pour faire surgir une source, on ne tarde pas, en étudiant de plus près la question, à se rendre compte qu'il n'en est rien et que ces émergences obéissent, au contraire, à des lois bien déterminées.

En examinant les terrains primitifs mis à jour, nous pûmes remarquer que la roche granitique, surtout dans le voisinage des sources, est sillonnée par de nombreux filons d'aragonite dont la formation ne saurait être attribuée qu'aux eaux minérales ayant circulé dans les fissures primitives de la roche, et que les dégagements d'eau et de gaz ont toujours lieu, à la surface de cette dernière suivant des fissures dont les parois sont recouvertes de couches plus ou moins épaisses d'aragonite (voir Pl. V, *fig.* 6 et 7).

A l'appui de cette opinion nous citerons les dépôts d'aragonite qui se forment dans les tuyaux d'adduction des eaux et qui, pour la source Deval, ont atteint en vingt années une épaisseur de 6 millimètres dans un tuyau de plomb de 46 millimètres de diamètre intérieur (voir Pl. V, *fig.* 8).

De plus la roche granitique ayant été nivelée en 1881-1882 dans l'emplacement d'un vaste hangar dépendant de l'établissement thermal, il nous fut permis de constater les trois faits suivants :

1° Les bulles de gaz s'échappant de la roche déterminaient, à la surface des flaques d'eau recouvrant le sol, des alignements parallèles nettement marqués ;

2° Les émissions de gaz avaient lieu par des fissures plus ou moins importantes donnant également issue à de l'eau, et tapissées de dépôts d'aragonite les obstruant, souvent complètement, dans une partie de leur longueur ;

3° Enfin ces fissures n'étaient pas verticales, mais légèrement inclinées sur l'horizon, du moins dans les limites de notre champ d'observation.

Le relèvement à la boussole d'un grand nombre de ces alignements ne tarda pas à nous montrer qu'ils se rattachaient à deux directions conjuguées, perpendiculaires entre elles, et correspondant aux orientations N. 14° E. et N. 104° E. Quant aux plongements des fissures corrélatifs de ces alignements, ils étaient respectivement dirigés vers le S.-E. et le S.-O. (voir Pl. IV).

Ces observations : 1° nous convainquirent que les eaux minérales n'arrivaient pas au jour par des cheminées isolées et distribuées d'une manière quelconque, mais par de véritables fissures de la roche comparables à des filons et présentant une certaine étendue ; 2° nous portèrent à penser qu'en partant d'un point d'émergence connu, il serait possible, en faisant une série de sondages de profondeur à peu près semblable, à une certaine distance de ce point, du côté du plongement et suivant l'une des directions reconnues, de pénétrer dans le filon alimentaire, et de créer ainsi des issues nouvelles à l'eau minérale.

Cette manière de voir a été absolument corroborée par l'exécution de différents travaux dont nous rendrons compte plus loin et qui nous ont permis, soit de faire jaillir de nouvelles sources, soit de concentrer, sur des points déterminés, des sources éparses et dont les captages laissaient beaucoup à désirer au point de vue de la conservation des eaux.

Relations existant entre les directions des filons et les accidents géologiques de la contrée. — Après avoir mis en évidence le mode d'émergence des eaux minérales de Châtel-Guyon, nous avons été conduit à rechercher si les directions des filons à travers lesquelles elles remontent à la surface du sol, n'avaient pas quelques relations avec les accidents géologiques de la contrée.

Voici quels sont les résultats de nos recherches à ce sujet :

En premier lieu nous pûmes constater que l'orientation principale N. 14° E. des filons des sources était perpendiculaire à celles des vallées du massif granitique avoisinant Châtel-Guyon, et parallèle à des parties notables de la vallée de la Sioule, ainsi qu'à la direction des bassins houillers qui traversent le plateau central.

Cette concordance dans ces directions permet de conclure que les fissures dont nous nous occupons remontent à une époque très éloignée, et sont contemporaines des anciens plissements et dislocations du plateau central. Cette direction du N. 14° E. est en outre celle de la faille terminale du bassin miocène de la Limagne et de la falaise granitique depuis Volvic jusqu'à Combronde (*).

Cette faille traverse la vallée du Sardon au pied même du village de Châtel-Guyon. Elle a donné lieu, en ce point, à un plissement remarquable des couches du terrain miocène que met nettement en évidence un escarpement connu sous le nom de *Rochers des Renards* et situé sur la rive droite du Sardon. Les couches de cet escarpement, composées de bancs de marnes argileuses surmontées de bancs de calcaires marneux, de bancs de sable, et de bancs d'arkoses, présentent une courbure très prononcée, et notamment ces derniers, dont les fragments sont disposés comme les voussoirs d'une vaste voûte (voir Pl. V, fig. 5.)

Nous avons pu constater sur la rive gauche du Sardon, dans une fouille faite pour une maison en bordure sur la route, la continuation de ce plissement dont l'axe est prolongé au nord par une série de mamelons (**), dont fait

(*) Nous avons retrouvé cette même orientation de N. 14° E. pour les filons des mines de plomb argentifère de Pontgibaud (août 1885.)

(**) Le sommet et les versants ouest et sud du mamelon de Châtel-Guyon sont granitiques, tandis que les versants nord et est sont miocènes. Quant aux autres mamelons, leurs couches apparentes sont miocènes.

partie celui sur lequel est bâti le village de Châtel-Guyon.

Il est à supposer que cette faille, en amenant les couches marneuses du miocène au contact de la paroi du massif granitique, a ainsi déterminé la formation, le long de cette paroi, d'un barrage étanche (*), lequel a pour effet, non seulement d'arrêter les eaux souterraines circulant dans les fissures de ce massif, mais de les faire refluer à la surface dans la partie basse de la vallée avoisinant la faille, en suivant les fractures régulièrement orientées et constituant des filons, qui traversent la roche (voir Pl. V, fig. 5.)

Si l'on en juge par les débris d'ossements fossiles (*Elephas, Aurochs, Cervus*) que nous avons recueillis en face de Saint-Hippolyte, dans une sablière ouverte sur le flanc ouest du contrefort faisant suite aux *Rochers des Renards*, à l'altitude de 450 mètres environ, soit à près de 80 mètres au-dessus de la vallée du Sardon, la faille dont il s'agit et qui remonte à l'effondrement des lacs miocènes de la Limagne, c'est-à-dire à une époque probablement antérieure au pliocène, aurait de nouveau joué au commencement du quaternaire.

Age des sources. — Quant aux eaux minérales elles-mêmes, leur apparition ne paraît pas devoir remonter plus haut que cette dernière époque.

D'un côté, en effet, les travertins auxquels ces eaux donnent naissance, ne se rencontrant que dans le fond de la vallée, n'ont pu y être déposés qu'après son ravinement complet; c'est-à-dire à la fin du quaternaire ou au commencement de l'époque actuelle, comme l'indiquent

(*) A l'appui de cette manière de voir nous citerons la non-rencontre d'eaux minérales dans un puits creusé à la base amont du *Rocher des Renards* et dont le fonçage a été poussé à plus de 50 mètres de profondeur. (Point Y du plan de la Pl. IV.)

également les échantillons d'*Helix nemoralis* et d'*Equisetum telmateja* que nous y avons recueillis.

Et d'un autre côté, vu la température de ces eaux, leur degré élevé de minéralisation et la forte proportion d'acide carbonique qu'elles contiennent, il est très naturel d'admettre qu'elles doivent leur activité au voisinage du massif volcanique des Puys, dont les éruptions par cratères datent de l'époque quaternaire et ont pu provoquer la réouverture des fissures anciennes du massif granitique.

Origine des sources. — De ces différentes considérations, il nous paraît permis de conclure que les eaux de Châtel-Guyon :

1° Sont alimentées par les eaux d'infiltration du massif granitique qu'arrête et fait jaillir, à la façon artésienne, par les filons de la roche, le barrage miocène qui accompagne la faille terminale de ce massif;

2° Doivent leur minéralisation aux matières fournies par les terrains qu'elles traversent, et aux émanations volcaniques se faisant jour par cette faille et à travers les fissures de ces terrains, lesquels sont, pour ainsi dire, imprégnés d'acide carbonique, comme on peut le constater dès que l'on y exécute une fouille.

L'abondance de ces gaz, dans la partie granitique du mamelon sur lequel est bâti Châtel-Guyon, est du reste telle qu'on ne peut y établir aucune cave, et que les habitants ont été conduits à creuser toutes celles du village dans la partie miocène de ce mamelon (*).

(*) Dans les mines de plomb argentifère de Pontgibaud on est obligé d'avoir recours à de puissants ventilateurs pour se débarrasser du gaz acide carbonique qui se dégage de la roche (août 1885).

CHAPITRE II.

CAPTAGE ET MISE EN SERVICE DES EAUX.

Dispositions des captages adoptés. — Le mode généralement suivi à Châtel-Guyon pour le captage des eaux minérales consiste, après avoir mis à nu le griffon, à le recouvrir d'une cloche en plomb dont le bord inférieur est recourbé horizontalement de manière à pouvoir s'appuyer sur la roche préalablement dressée autour du point d'émergence de la source. On épuise alors dans l'intérieur de la cloche par le tuyau de dégagement qui la surmonte et après avoir, par un battage convenable, assuré le contact du rebord inférieur de la cloche et du rocher, on englobe tout l'appareil dans un massif de béton de ciment.

Une fois la prise du béton terminée, on conduit, au moyen d'un tuyau se raccordant avec celui de dégagement de la cloche, l'eau minérale au lieu d'emploi, lequel, en général, est à un niveau supérieur à celui de la source.

Inconvénients de ces captages — Cette manière de procéder présente de graves inconvénients, conséquence forcée de ce fait, signalé plus haut, que les eaux minérales suivent, pour arriver à la surface du sol, non des cheminées isolées, mais des filons d'une certaine étendue.

Parmi ces inconvénients, nous signalerons :

1° La tendance qu'ont les eaux, au moment où elles sont forcées de remonter dans la cloche et le tuyau de conduite, à s'ouvrir de nouveaux passages le long de la lèvre du filon;

2° Les pertes dues à l'ouverture de ces nouveaux passages, pertes croissant avec la hauteur du refoulement des eaux, et pouvant devenir assez importantes pour arrêter leur écoulement lorsque l'on veut les conduire à un niveau notablement supérieur au captage;

3° La tendance à l'obstruction des griffons, par des dépôts d'aragonite, lorsque la quantité d'eau y passant va en diminuant;

4° Enfin les changements qu'apporte aux conditions d'émergence des eaux, l'augmentation de charge imposée aux griffons, d'où résulte un changement dans leur composition, non seulement au point de vue de leur teneur en gaz acide carbonique, lequel tend à s'échapper par des passages de moindre résistance, mais au point de vue des sels dissous, dont les proportions varient en même temps.

En dehors de ces inconvénients intéressant spécialement le débit et la qualité des eaux, ce genre de captage et de conduite en offre encore d'autres, que nous allons passer en revue et qui ont trait, plus particulièrement, à l'usage des eaux et à la conservation des ouvrages.

Quand on observe les sources qui débouchent dans des bassins naturels ou non, offrant une couche d'eau d'une certaine épaisseur, on peut remarquer que l'émission des eaux n'a pas lieu d'une manière régulière. C'est ainsi qu'après une arrivée très calme des eaux presque dépourvues de gaz apparent, on voit, au bout d'un certain temps (de quelques secondes à quelques minutes suivant les sources), des bulles de gaz, de plus en plus nombreuses se dégager des griffons et traverser la nappe d'eau les recouvrant, puis, tout à coup, se produire un bouillonnement de gaz qui émulsionne l'eau pendant quelques secondes; après quoi, le calme se rétablit et une nouvelle période recommence. En outre, on peut également remarquer que, pendant toute la période de calme, le niveau de l'eau dans le bassin va en s'élevant avec d'autant plus de rapidité qu'approche le moment du bouillonnement tumultueux, et qu'ensuite ce niveau redescend brusquement à sa hauteur primitive.

L'explication de ce phénomène est fort simple. L'eau

saturée de gaz, en s'élevant des profondeurs du sol dans le filon qui l'amène à la surface, laisse s'échapper peu à peu, par suite de la diminution de la pression qu'elle a à supporter, une certaine quantité de ce gaz. Une partie de ce dernier continue à faire route avec l'eau, et le surplus se loge dans toutes les poches renversées que peut présenter le filon. Une fois ces poches remplies, tous les gaz mis en liberté s'accumulant dans la colonne ascendante liquide, la rendent, par cela même, plus légère; d'où résulte une diminution de pression qui permet au gaz emprisonné dans les poches de se détendre et de s'échapper tumultueusement.

Cette explication, dont nous avons pu vérifier l'exactitude par des expériences directes, ainsi que nous le montrerons plus loin, rend compte également de l'accroissement d'intensité que prend le phénomène avec l'augmentation de la température et la diminution de la pression atmosphérique.

Ce qui se passe dans les conduits naturels des eaux se passe également dans les cloches de captage et les tuyaux d'amenée; aussi l'intensité de ce phénomène, par une installation mal comprise de ces appareils, peut-elle devenir une gêne pour le service des eaux, ainsi que l'attestent les deux faits suivants dont nous avons été témoins.

En 1881, la source Deval, qui dessert la buvette de l'établissement thermal, avec une surélévation de 5 mètres environ au-dessus du griffon, arrivait à donner des bouillonnements intermittents tellement violents que les eaux débordaient à chaque instant hors de la vasque qui les recevait, au point d'inonder fréquemment les buveurs.

Pendant cette même année, et en 1882, des commencements d'asphyxie furent observés chez des baigneur par l'arrivée inopinée de flots de gaz acide carbonique dans des baignoires consacrées aux bains acidulés à eau courante.

Ces mouvements tumultueux, en produisant de véri-

tables coups de bélier dans les conduites et les cloches, sont, en outre, de nature à disloquer les unes et les autres, et, inconvénient encore plus grave, à procurer aux eaux et aux gaz des issues en dehors des captages; d'où diminution dans le débit des sources et modification dans la composition des eaux.

Nous ajouterons, comme dernière observation au sujet des captages anciens, qu'aucune disposition ne permettant de dégager les griffons des incrustations qui s'y forment, ils s'obstruent peu à peu, et arrivent même à ne plus fournir d'eau dans un délai assez rapproché lorsqu'il s'agit de sources peu importantes.

Observations sur le régime des eaux. — C'est en nous inspirant de ces observations que nous avons fait exécuter, pendant nos séjours à Châtel-Guyon, en 1881 et 1882, à la demande du directeur de l'établissement et par pure curiosité scientifique, divers travaux qui nous ont permis de contrôler les faits indiqués ci-dessus et de corriger certains défauts des installations existantes.

Une des principales sources alimentant, en 1881, l'établissement thermal était la source Gubler, sise sur la rive droite du Sardon. Malheureusement, ainsi que cela se pratique trop fréquemment dans les pays d'eaux thermales, des voisins s'empressèrent, pour attirer chez eux les eaux de cette source, d'exécuter des fouilles sur la rive gauche. L'un d'eux, plus favorisé que les autres, y parvint en partie, et il y avait tout lieu de craindre de voir l'établissement thermal privé de cette source importante.

C'était un danger auquel il fallait parer, soit par des travaux appropriés, soit par des achats de terrains poursuivis dans une direction convenable qu'il s'agissait de déterminer.

Après avoir choisi à 15 mètres environ en aval de la source Gubler et dans le lit même du Sardon (voir

Pl IV) une portion de roche à travers laquelle se manifestait un léger suintement d'eau minérale accompagné d'une émission de gaz assez marquée, nous fîmes percer, au moyen d'une barre à mine, un trou vertical qui donna issue, après un forage de 0^m,80 de profondeur, à une colonne d'eau et de gaz s'élevant à plus de 2 mètres au-dessus de la roche.

En partant de ce premier forage nous fîmes ouvrir, dans la berge gauche du Sardon, une tranchée orientée à peu près dans la direction N. 14° E., et poussée jusqu'à la roche en place à surface presque horizontale, tranchée dans laquelle furent percés à la barre à mine quatre trous espacés entre eux d'environ 1^m,50. Tous donnèrent lieu à des jaillissements d'eau et de gaz dès que la barre à mine atteignit sensiblement *la même profondeur* que dans le premier. L'ouverture de ces orifices diminua d'une manière marquée le débit de la source Gubler et de sa dérivée, que nous désignerons dorénavant sous le nom de Champagne, qu'elle portait dans le pays.

Afin de pouvoir mieux étudier les relations existant entre ces diverses émergences sans gêner le service de l'établissement, nous fîmes surmonter chacun de ces forages d'un tuyau en plomb bien calfaté à son pied et suffisamment haut pour prévenir tout écoulement à son extrémité supérieure. Grâce à ces tubes nous pûmes constater que l'eau s'élevait, dans chacun d'eux, sensiblement au même niveau. Les ayant alors fait recouper à quelques centimètres plus bas que ce niveau, nous obtînmes un déversement régulier d'eau gazeuse au sommet de chacun d'eux (voir la photographie *fig. 9*, Pl. V).

Toutefois il était à remarquer que les débits des différents tuyaux n'étaient pas tous égaux et que le dégagement du gaz libre était plus abondant pour certains que pour d'autres.

A ce niveau, l'écoulement des eaux provenant des fo-

rages avait une influence beaucoup moins sensible sur les débits des sources Gubler et Champagne, et il suffisait, pour rendre à ces sources leur activité habituelle, de supprimer cet écoulement en fermant les tubes au moyen de bouchons.

Ces premiers résultats acquis, nous fîmes percer, à 8 mètres environ en amont de cette première ligne de forage et en aval des sources Gubler et Champagne, deux nouveaux trous de barre à mine qui donnèrent également issue à des eaux minérales. Ces forages ayant été tubés comme les premiers, il fut possible de constater que les eaux minérales s'élevaient dans ces tubes au même niveau que dans les premiers, ce qui permit de conclure que tous ces forages pénétraient dans le filon qui alimentait les sources Gubler et Champagne.

C'est ce que mit définitivement en évidence une tranchée exécutée dans l'alignement de ces deux derniers forages, soit à peu près dans la direction N. 14° E., et qui, en recoupant le filon en question sur une longueur de 10 mètres, mit presque complètement à sec les deux sources Gubler et Champagne. Quant au filon il se présenta dans cette tranchée sous la forme d'une fissure ondulée à peu près horizontale dans son ensemble et située, en moyenne, à 1 mètre en contre-bas de la surface de la roche recouverte, en ce point, par un dépôt d'alluvions granitiques d'environ 0^m,60 d'épaisseur, surmonté lui-même d'une couche de terre de 1 mètre. Cette fissure offrait des largeurs très variables, comprises entre quelques millimètres et 2 à 3 centimètres. Elle était généralement tapissée d'une légère couche d'aragonite qui, en certains points, prenait assez d'épaisseur pour l'obstruer complètement.

Type de captage essayé. — En ce qui concerne les procédés suivis pour réunir les eaux ainsi mises à dé-

couvert, n'ayant pu les suivre dans leur entier, nous ne nous arrêterons qu'à ceux exécutés sous notre direction pour recueillir les eaux jaillissant par les cinq premiers forages, et qui nous paraissent pouvoir servir de type aux captages des eaux minérales gazeuses de même allure que celles de Châtel-Guyon.

Ayant fait dresser, à la pointe, la roche sur une zone de 0^m,30 environ de chaque côté des forages, nous les fîmes recouvrir au moyen d'une demi-conduite cylindrique en plomb de 6 mètres de longueur et de 0^m,40 de diamètre (voir *fig. 2 et 3*, Pl. V). Les bords inférieurs de cette conduite étaient repliés horizontalement afin de pouvoir être bien appliqués sur la roche. De plus, pour l'assujettir, nous eûmes recours à des colliers en fer l'embrassant par-dessus et maintenus en place, par des écrous vissés sur des crampons scellés dans le rocher. Sur cette conduite et au droit de chaque forage, furent établies des tubulures verticales surmontées de plaques pleines mobiles et reliées entre elles par une conduite en plomb de 0^m,027 de diamètre intérieur. Enfin, le tout fut surmonté d'un massif de béton de ciment de 2 mètres de largeur avec revêtement en maçonnerie appareillée de manière à laisser apparentes les plaques pleines des tubulures.

On comprend facilement que, grâce à ces dispositions, le dégagement de l'eau et du gaz par chaque trou de forage se fait avec la plus grande liberté et que, à l'aide de la conduite en plomb reliant les tubulures, les gaz en excès et non dissous dans l'eau peuvent se rendre, sans passer par la conduite de captage, dans le réservoir servant à l'emmagasinement des eaux minérales, et cela sans gêner l'écoulement de ces dernières et sans produire de coups de bélier désastreux pour les ouvrages.

Il convient enfin de remarquer qu'avec des plaques pleines mobiles disposées au-dessus des forages, il est

toujours possible de venir les dégager des dépôts calcaires qui pourraient tendre à les obstruer.

Le même système a été suivi pour capter les eaux se faisant jour dans les fouilles exécutées sur la rive droite du Sardon pour le hangar de l'embouteillage, vis-à-vis du captage dont nous venons de nous occuper, et a permis de vérifier, à nouveau, l'exactitude de la circulation des eaux minérales suivant des filons d'une certaine étendue. Toutefois l'alignement adopté pour ces derniers forages, d'après l'examen des emplacements des émergences mises à jour, a été une ligne orientée N. 104° E., c'est-à-dire une perpendiculaire au premier alignement suivi.

Réglage de l'émission des eaux minérales. — Les eaux et les gaz provenant d'un captage se trouvant réunis, comme nous venons de le dire, dans un réservoir d'emménagement, il nous reste à montrer comment il peut en être fait usage, et pour cela nous citerons les dispositions que nous avons appliquées à la buvette de l'établissement thermal.

Comme nous l'avons vu plus haut, les eaux de la source Deval qui alimentent la vasque de cette buvette y arrivaient, en 1881, avec de tels soubresauts que l'approche de cette vasque en était très mal commode.

Pour remédier à cet inconvénient nous eûmes recours à l'appareil suivant.

Le mélange d'eau et de gaz provenant des captages de la source Deval fut amené (voir *fig. 1*, Pl. V) par une conduite *ℰ'*, dans le fond d'un réservoir cylindrique en plomb de 0^m,60 de diamètre et de 1 mètre de hauteur dans lequel pénétrait, par le haut, un tuyau C, plongeant dans ce réservoir jusqu'à 0^m,20 au-dessus du fond, et communiquant avec la partie inférieure de la vasque V, de la buvette. Un autre tuyau en plomb T, plus petit, partant du haut du réservoir et muni d'un robinet d'arrêt A,

fut conduit également jusqu'à la partie inférieure de la vasque, et surmonté d'une pomme d'arrosoir P, de grande surface et percée de trous très fins. Trois tuyaux *t*¹, *t*², *t*³, de petit diamètre, munis chacun, à leur partie supérieure, de robinets *r*¹, *r*², *r*³, et débouchant : l'un au sommet du réservoir, l'autre au tiers et le troisième aux deux tiers de sa hauteur, furent établis le long d'un mur de l'établissement. Enfin, sur un quatrième tuyau *t*⁴, partant du sommet du réservoir et garni à son extrémité supérieure d'un robinet d'arrêt *r*⁴, fut adapté un double branchement surmonté, d'un côté, d'une petite soupape à poids S, et, de l'autre, d'un manomètre de pression M.

Ceci posé, voyons de quelle manière doit fonctionner cet appareil.

Si nous admettons que les robinets A, *r*¹, *r*², *r*³, *r*⁴, soient fermés, il est facile de comprendre : 1° que l'eau chargée de gaz, en arrivant de la source dans le réservoir R, y forme deux couches, l'une supérieure composée de gaz seulement, et l'autre inférieure ne comprenant que de l'eau saturée de gaz ; 2° que, pendant que cette dernière alimente la vasque V, par le tuyau C, la couche supérieure, par les apports continuels de gaz, augmente peu à peu d'épaisseur, jusqu'au moment où elle atteint l'extrémité inférieure de la conduite C. Une certaine quantité de gaz libre se dégagera alors par la conduite C et, en rendant la colonne d'eau renfermée dans cette conduite plus légère, amènera la détente brusque du gaz du réservoir, lequel se précipitera avec des bouillonnements violents dans la vasque jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre se reproduise ; après quoi, l'écoulement des eaux redeviendra de nouveau calme pour repasser ensuite par les mêmes périodes d'effervescence. De plus, on comprendra également que, par suite du remplissage et de la vidange alternative du réservoir R, le débit des eaux dans la vasque V éprouve des variations, et que le niveau des eaux,

dans cette vasque, après avoir atteint un maximum avant l'éruption gazeuse, atteinne un minimum immédiatement après.

Ces effets, dont on se rend compte aisément, comme on le voit, par le raisonnement, ont été vérifiés entièrement par l'expérience directe, et comme ils sont identiques à ceux qui se manifestent dans les sources non captées, on peut en conclure que l'explication que nous en avons donnée plus haut, au sujet des phénomènes accompagnant le jaillissement de ces sources, est vraisemblablement exacte.

Supposons maintenant que l'on ouvre le robinet A, juste assez pour que le niveau de l'eau dans le réservoir R reste dans le voisinage des deux tiers de la hauteur du réservoir à partir de la base, ce dont on se rendra compte en ouvrant, tour à tour, les robinets r^1 , r^2 , r^3 , lesquels donneront, soit un jet de gaz, soit un jet d'eau, selon que leurs extrémités inférieures plongeront ou ne plongeront pas dans l'eau; supposons enfin que le robinet r^4 soit ouvert et la soupape S chargée de manière à être sur le point de s'ouvrir. Il est facile de saisir que dans ces conditions : 1° le gaz non dissous, amené de la source par la conduite P', s'accumulera en haut du réservoir et s'écoulera sous une pression constante par la pomme d'arrosoir P, à travers les eaux retenues dans la vasque, auxquelles il communiquera un bouillonnement régulier beaucoup plus propice qu'un bouillonnement tumultueux à la conservation de la quantité de gaz dissous ou en suspension dans l'eau; 2° les coups de bélier pouvant provenir du fait, soit de la source elle-même, soit des travaux de captage, se trouveront bien amoindris par la présence de la soupape S.

C'est ce que l'expérience a permis de vérifier en montrant qu'il suffisait, pour assurer le jeu régulier de cet appareil, de le régler, de temps en temps, par une ma-

nœuvre convenable des robinets r^1 , r^2 , r^3 , et du robinet A, afin de tenir compte des variations se manifestant dans le débit des gaz et des eaux fournis par la source.

Reconstitution des eaux minérales au moyen de leurs éléments. — Lorsque les eaux sont amenées, depuis leur émergence jusqu'au lieu d'emploi, par des conduites ascendantes, en dehors des perturbations dans leur marche dues aux coups de bélier, elles ne subissent, en somme, aucune altération notable; leur régime artificiel ne différant pas beaucoup de leur régime naturel. Mais il n'en est pas de même lorsque les eaux, à partir des captages, doivent être amenées au lieu d'emploi au moyen de conduites descendantes ou à profil en long mouvement. Dans ce cas, en effet, une grande partie du gaz non dissous dans l'eau, et même, suivant les circonstances, une partie du gaz dissous tendent à remonter vers le sommet des conduites et jusqu'aux captages, où ces gaz gênent l'arrivée des eaux et tendent à s'échapper par toutes les fissures qu'ils peuvent rencontrer.

On est, de plus, souvent obligé, pour arriver à obtenir un écoulement régulier par la conduite d'amenée, et pour éviter les coups de bélier résultant de la marche en sens inverse des eaux et des gaz, de laisser échapper une grande partie de ceux-ci au point de départ de la conduite.

Dans ces conditions, les eaux, à leur arrivée, ont complètement changé de nature au point de vue des gaz qu'elles contiennent, et, ainsi que nous avons pu le constater, en 1882, pour les eaux provenant de la source Duclos, non seulement elles ne renfermaient plus que peu de gaz en suspension, mais le gaz dissous, dont la présence pour les bains acidulés est absolument indispensable, leur faisait à peu près défaut.

Nous pensâmes qu'il y avait un moyen de corriger cet état de choses en profitant précisément de la cheut

d'environ 4^m,50 dont on disposait entre le captage et le réservoir d'emmagasinage du service des bains, pour mettre en jeu un appareil basé sur l'entraînement des gaz par une colonne liquide en mouvement dans une conduite.

Vu le peu de durée que devait avoir notre séjour à Châtel-Guyon, nous dûmes avoir recours, pour réaliser notre idée, à un appareil très grossier, mais qui donna cependant des résultats satisfaisants et démontra qu'en utilisant les principes sur lesquels il est fondé, il était possible de ramener à leur état naturel, et par le seul emploi de leurs éléments, les eaux altérées par la perte de la majeure partie de leur gaz.

Quant à cet appareil, que nous désignerons sous le nom de régénérateur, voici sa description (voir *fig. 4*, Pl. V) : dans un cylindre C, terminé, d'un côté, par une partie conique et, de l'autre, par une partie cylindrique d'un plus fort diamètre, se trouve engagé un cylindre C', portant, à l'une de ses extrémités, une pomme d'arrosoir conique à trous très fins et, à l'autre, un tube traversant un presse-étoupes monté sur le gros cylindre. Des tubulures sont ménagées, en outre, sur cet appareil en A, pour l'arrivée de l'eau dans le gros cylindre, en A', pour l'arrivée du gaz dans le petit, et en S, pour la sortie du mélange opéré dans l'intérieur de l'appareil. Une double conduite ayant été établie entre cet appareil disposé sur le réservoir d'emmagasinage des eaux minérales et le captage de la source Duclos de manière à amener l'eau et le gaz séparément aux tubulures A et A', il a suffi, après avoir ouvert le robinet d'arrêt de la conduite de gaz et rapproché, à une distance convenable, les parois des deux portions coniques des cylindres, de laisser l'écoulement de l'eau se produire sous pression, en n'ouvrant que modérément le robinet de la conduite d'eau, pour voir sortir, par l'orifice S, une eau absolument émulsionnée par le gaz entraîné.

Cette eau renfermait une grande quantité de gaz à l'état de dissolution, comme le prouvaient les myriades de bulles gazeuses venant se déposer sur la main plongée dans cette eau, caractère distinctif des eaux de Châtel-Guyon propres à être employées aux bains acidulés.

Pour terminer, nous ferons remarquer que, dans le cas où l'on ne disposerait pas d'une chute, le même résultat serait obtenu avec le régénérateur en question, en l'alimentant par des eaux et du gaz provenant de réservoirs remplis par des pompes foulantes.

Vernon, juillet 1883.

LÉGENDE EXPLICATIVE DES PLANCHES IV ET V.

Planche IV.

Plan général des sources de Châtel-Guyon. — Échelle de 1/5000.

Planche V.

Fig. 1. — Appareil pour régler l'émission des eaux minérales gazeuses. — Échelle de 1/40.

- V vasque de la buvette.
- P pomme d'arrosoir à trous très fins.
- T conduite d'arrivée du gaz à la vasque.
- A robinet d'arrêt.
- C conduite d'amenée de l'eau à la vasque.
- L robinet de décharge de la vasque.
- p trop-plein de la vasque.
- R réservoir.
- P' conduite d'amenée des eaux de la source.
- M manomètre de pression.
- S soupape de règlement de la pression.
- r¹ r² r³ robinets d'observation.
- t¹ t² t³ conduites des robinets d'observation.
- r⁴ robinet d'arrêt.
- t⁴ conduite du manomètre et de la soupape.

Fig. 2 et 3. — Type de captage par cloche longitudinale pour eaux minérales gazeuses. — Échelle de 1/100.

- FF filon d'eau minérale dans la roche.
- f forages pour atteindre le filon.
- C cloche longitudinale en plomb.
- B brides d'attache.
- T tubulures pour visite des forages.
- P plaques pleines fermant les tubulures.
- E conduite collectrice des gaz.
- G conduite des eaux.

Fig. 4. — Régénérateur pour la reconstitution des eaux minérales gazeuses. — Échelle de 1/20.

- A tubulure d'arrivée de l'eau.
- A' tubulure d'arrivée du gaz.
- C cylindre parcouru par l'eau.
- C' cylindre parcouru par le gaz.
- D pomme d'arrosoir conique.
- S tubulure de sortie de l'eau gazeuse.
- E presse-étoupes.
- F collier pour guider le cylindre intérieur.

Fig. 5. — Élévation et coupe longitudinales schématiques de la vallée du Sardon, indiquant le mode d'émergence des eaux minérales.

- DEF faille de contact du massif granitique et des couches miocènes.
- DE remplissage de la faille non fermée par les dépôts d'aragonite et de travertins.
- EF remplissage de la faille fermée par ces dépôts.

Fig. 6. — Portion de filon donnant passage aux eaux minérales à travers la roche granitique, avec remplissage partiel d'aragonite. (Se trouve dans la collection de l'École des mines.)

A aragonite. | G granite.

Fig. 7. — Portion de filon donnant passage aux eaux minérales à travers la roche granitique, avec remplissage complet d'aragonite. (Se trouve dans la collection de l'École des mines.)

A aragonite. | G granite.

Fig. 8. — Tuyau en plomb d'amenée des eaux minérales, avec dépôts intérieurs d'aragonite. (Se trouve dans la collection de l'École des mines.)

Fig. 9. — Jaillissement, par les trous de sonde tubés, des eaux minérales d'un filon. (Héliogravure Arents.)

ÉTUDE

SUR

LES INSTITUTIONS DE PRÉVOYANCE

POUR LES OUVRIERS MINEURS EN PRUSSE

Par M. ICHON, ingénieur des mines.

Chargé par M. le Ministre des travaux publics d'étudier l'organisation actuelle des caisses de secours et de prévoyance des ouvriers mineurs en Allemagne et spécialement en Prusse (*), et les modifications qu'apporteront à cette organisation les nouvelles lois d'Empire sur l'assurance des ouvriers contre les maladies et les accidents, j'ai pensé qu'au moment où l'on s'occupe en France de préparer une législation sur la matière, il serait intéressant de présenter, en outre des renseignements qui se rattachaient plus spécialement à ma mission, un aperçu du développement historique de ces caisses.

C'est, en effet, en Allemagne et en Autriche que ces institutions sont les plus anciennes; si elles sont arrivées dans une période assez longue, et presque toujours sous

(*) Qu'il me soit permis de remercier ici : MM. le Berg-hauptmann Brassert et le Conseiller privé Klostermann, à Bonn; MM. le Président Bödiker, le Conseiller privé Berg et le Conseiller des mines Hasslacher, à Berlin, de la complaisance avec laquelle ils ont mis à ma disposition tous les renseignements dont je pouvais avoir besoin.

une surveillance administrative assez étroite, au moins jusqu'à ces derniers temps, aux résultats que nous ferons connaître, il est curieux d'en rapprocher ceux des caisses de nos exploitations françaises qui se sont développées dans une période beaucoup plus restreinte et uniquement grâce à l'initiative privée.

Je diviserai cette étude en trois parties.

Dans la première, j'examinerai les institutions de prévoyance pour les ouvriers mineurs de la Prusse jusqu'aux lois d'Empire sur l'assurance obligatoire contre les maladies et les accidents.

La seconde partie comprendra un résumé des deux lois d'Empire sur l'assurance contre la maladie et les accidents dans celles de leurs dispositions qui se rapportent à l'exploitation des mines.

Dans la troisième partie, j'étudierai les modifications des institutions actuelles de prévoyance pour les ouvriers mineurs de la Prusse, qui doivent résulter de ces lois d'empire.

Je terminerai par une comparaison des résultats fournis par les associations prussiennes avec ceux obtenus en France, tels que vient de nous les faire connaître M. l'ingénieur en chef Keller (*).

J'annexe à ce travail (**) un certain nombre de tableaux résumant les allocations statutaires des principales caisses de la Prusse, les allocations moyennes payées effectivement, les dépenses et les recettes, totales et par participant, en 1853 et en 1883, et un extrait des statuts tout récents de la caisse minière de la Wurm établie d'après un modèle rédigé par l'Union générale allemande

(*) *Annales des mines*, 8^e sér., t. VI, p. 321.

(**) Je tiens à remercier ici mon ami M. Aguillon, ingénieur en chef des mines, des conseils qu'il a bien voulu me donner pour la division et la rédaction de ce travail.

des caisses minières (*), en tenant compte des prescriptions nouvelles sur l'assurance.

Je crois devoir rappeler ici les deux publications faites antérieurement dans les *Annales* sur les caisses de prévoyance ou sociétés ouvrières en Prusse.

La première est une Note de M. Laugel, ingénieur des mines (5^e série, Lois et Décrets, t. V, p. 199), qui reproduit les données du travail statistique contenu dans le *Zeitschrift für Berg, Hütten und Salinenwesen*, de 1854, et cité par nous à la page 331.

La seconde est une traduction, par extraits, par M. Zeiller, ingénieur des mines (7^e série, Lois et Décrets, t. XIX, p. 17), d'une brochure publiée par le ministère des travaux publics à Berlin en 1875, relative aux institutions pour l'amélioration de la condition des ouvriers dans les établissements miniers de la Prusse. Ce dernier travail, fort intéressant, donne des détails non seulement sur les caisses de prévoyance ou de secours, mais encore sur les heures de travail, les salaires et les logements des ouvriers, sur les avances de fonds qu'on leur fait par endroits, sur les écoles, les bibliothèques, etc.

PREMIÈRE PARTIE.

Historique.

Les associations ou corporations de mineurs (**) formées en Allemagne et en Autriche en vue d'assurer des secours aux ouvriers en cas de maladie, d'accident, etc., sont extrêmement anciennes. On les trouve déjà men-

(*) *Allgemeiner Deutscher Knappschaftsverband*, union formée pour la discussion des intérêts de toutes les caisses minières.

(**) *Knappschaft*, réunion ou corporation de mineurs (de l'ancien mot *Bergknappe*, littéralement écuyer de mines).

tionnées dans l'ordonnance minière de Kuttendorf de l'an 1300, ce qui prouve qu'elles existaient et fonctionnaient dès cette époque.

Au seizième siècle, il est traité explicitement de la constitution et du fonctionnement des caisses minières (*) dans les principales ordonnances sur les mines, telles que les ordonnances de : Joachimsthal, de 1548 ; Nassau, de 1559 ; l'Électorat de Trèves, de 1564.

L'ordonnance de 1538 rendue par le conseil de la ville de Goslar pour régler l'exploitation des mines métalliques du Rammelsberg au Harz, stipulait les secours à accorder par la caisse en cas d'accidents, la caisse ayant pour rentrées 1 pfennig (1^{cent},25) versé par chaque membre chaque samedi et le produit des minerais tombés des voitures dans les chemins creux (ce qui constituait la contribution des exploitants).

Le conseil donnait un bâtiment comme hôpital (**).

Fréquemment les exploitants contribuaient indirectement aux caisses en leur versant la portion de bénéfice afférente à deux parts ou actions libres (*Freikuxe*) (***) dont la propriété était attribuée aux caisses.

L'ordonnance minière de l'Électorat de Cologne de 1669 renfermait les prescriptions suivantes :

Contributions. — Chaque mineur (ouvrier) devait verser 4 pfennig lourds, c'est-à-dire la moitié d'un gros (à peu près 0^f,06) à la caisse par semaine.

(*) *Knappschaftscasse* (en Autriche *Bruderlade*), caisse de corporation minière que nous appellerons *Caisse minière*.

Knappschaftsverein, réunion des ouvriers de plusieurs mines dans une même caisse; nous conservons ce terme tel quel.

Knappschaftsverband, réunion de plusieurs *Knappschaftsvereine* pour traiter des intérêts communs.

(**) Achenbach dans *Zeitschrift für Bergrecht* de Brassert, de 1871, p. 90.

(***) *Freikuxe*, parts bénéficiaires; il en était réservé également aux églises, aux écoles, etc.

Les exploitants supportaient les frais de traitement et d'enterrement des *victimes d'accidents*. Ils devaient également payer aux *victimes d'accidents* leur salaire jusqu'à guérison.

Allocations. — Les allocations étaient accordées en dehors des cas d'accidents par l'administration des mines (*Bergamt*) sur les fonds de la caisse. Ces allocations étaient donc entièrement laissées à l'appréciation de l'administration des mines; on disait seulement que « les invalides recevraient une dotation hebdomadaire de la caisse ». Ce qui est intéressant à noter, c'est que ce que l'on accorde s'appelle *ein gewisses Gnadengeld*, c'est-à-dire *un certain secours gracieux*.

Administration. — La gestion de la caisse était confiée à des anciens de la corporation (*) et à des employés aux écritures, les uns et les autres choisis et confirmés par l'administration des mines qui les surveillait.

Dans les ordonnances de mines postérieures, telles que celles de Clèves et Marche, de 1766, de Silésie, de 1769, de Magdebourg de 1772, du Palatinat de 1781, de la Bavière de 1784, on avait stipulé également une contribution déterminée de la part des ouvriers évaluée en tant pour cent des salaires.

Par contre, les caisses accordaient les frais de traitement et d'enterrement, quelquefois des pensions d'invalides et de veuves; mais on retrouve encore ici (Ordonnance de la Bavière) les termes de *Almosen* et *Gnadengeld*, c'est-à-dire aumône et secours gracieux, ce qui excluait la reconnaissance de droits acquis positifs, au moins quant aux pensions.

Dans ces mêmes ordonnances, il était dit que les *exploitants* devaient payer aux ouvriers *malades* ou *victimes d'accidents* leur salaire pendant : huit semaines, en géné-

(*) *Knappschaftsälteste*.

ral, pour les mines en bénéfice, quatre semaines pour les mines en perte.

Les veuves ou héritiers des victimes d'accidents avaient droit à ce même salaire.

En Prusse, dans les parties de la rive droite du Rhin, ces diverses prescriptions locales étaient confirmées, avant la loi de 1854, par les dispositions légales générales (*).

Dans les parties de la rive gauche, les articles 15 et 16 de notre décret du 8 janvier 1813 étaient seuls légalement applicables.

En somme, jusqu'à l'année 1854, il n'existait aucune prescription légale générale obligeant à établir des caisses minières communes pour des districts déterminés. La formation des caisses était subordonnée à l'entente des intéressés.

Si, pour pénétrer plus avant dans la connaissance de cette première période des *Knappschaftscassen*, nous suivons l'histoire de la caisse de Bochum, la plus ancienne du bassin de la Ruhr, fondée en 1767, sur la base de l'ordonnance de 1766, nous voyons qu'elle est déjà endettée en 1781 et que la contribution des ouvriers de 1,66 p. 100 du salaire n'était pas suffisante pour couvrir les dépenses de la caisse. On chercha à y remédier par les *Freischichtgelder*, contribution remplaçant des journées faites gratuitement pour la caisse et qui fut fixée d'abord à quatre, puis à douze montants de journée par an; ce montant de journée était de 1^f,16 (0^{marc},93). Cette contribution ressortait à environ 4 p. 100 du salaire, de manière qu'en tout les ouvriers payaient alors 5,66 p. 100 de leur salaire.

Quant aux exploitants, leur contribution fut fixée tout d'abord à autant de tonneaux de charbon qu'ils occupaient d'ouvriers, plus le salaire aux malades et aux

(*) *Allgemeines Landrecht*.

blessés pendant quatre ou huit semaines, comme il a été dit plus haut. En 1770, cette contribution fut arrêtée à 1/120^e ou 0,833 p. 100 de la recette brute totale, la caisse se chargeant alors de tous les frais.

La caisse avait encore quelques recettes accessoires, comme un droit d'entrée ou d'avancement payé par les ouvriers, un droit de 3^f,75 (1 thaler) en cas de mariage, les amendes, etc., et un subside payé par la caisse de l'administration des mines.

Quant aux allocations fournies par la caisse, elles comprenaient :

1^o Le traitement et les médicaments gratuits, et un salaire de maladie pendant huit semaines : ce salaire était de 0^f,60 (48 pfennig) pour les mineurs et 0^f,50 (40 pfennig) pour les rouleurs, soit à peu près 50 p. 100 du salaire; il était aussi accordé à la famille des ouvriers tués par accident;

2^o Une pension en cas d'invalidité fixée à 5^f,62 (4^{marcs},50) par mois pour les mineurs et 5 francs (4 marcs) pour les rouleurs;

3^o Des pensions aux veuves et orphelins des mineurs et des invalides : la pension de veuve était des 2/3 de celle du mari; les orphelins recevaient tous 1^f,25 (10 gros) par mois;

4^o Un secours d'enterrement de 9^f,37 (7^{marcs},50) en cas de mort des membres de la caisse.

Les taux d'allocation indiqués sont ceux de l'année 1784. Notons que dès lors, comme généralement depuis, les ouvriers étaient distingués en deux catégories principales :

1^o Les stables ou inscrits qui jouissaient de toutes les allocations fournies par la caisse;

2^o Les instables qui, *tout en payant les mêmes contributions*, n'avaient droit qu'au traitement et aux médicaments gratuits.

Un certain stage, comme instable, était requis pour acquérir la qualité de stable.

En dehors de ces deux catégories, il y avait encore les manœuvres et ouvriers temporaires auxquels on faisait également la retenue de 1,66 p. 100 sur le salaire sans leur accorder *aucune allocation*.

Bien que depuis 1803 on eût attribué le salaire de maladie aux instables, qu'on eût au même moment presque doublé les taux des salaires de maladie et augmenté ceux des pensions de 20 p. 100 à peu près, la caisse put amasser un capital de 417.187 francs jusqu'à la fin de 1823. En 1824, un règlement pour les caisses minières du district de Dortmund introduisit certaines modifications et notamment une augmentation du taux des salaires de maladie et la suppression de la contribution des manœuvres et ouvriers temporaires, ainsi que le paiement de frais d'école. Il en résulta une augmentation des dépenses et le capital avait diminué de 18.750 francs en 1833. On réduisit alors de nouveau les salaires de maladie et les frais d'école; par suite de cette mesure et de l'accroissement de l'exploitation des mines, la situation devint meilleure et l'on put accroître les pensions en 1838.

En 1842, on fixa d'une manière générale à 5 p. 100 du salaire la contribution des ouvriers à la caisse, tant pour les stables que pour les instables, en accordant certaines allocations nouvelles à ceux-ci en cas d'accident. Malgré cela le capital de la caisse s'accrut de 120.000 fr. de 1834 à 1847; en 1848, on augmenta de nouveau le taux des pensions d'invalides, en le rendant en même temps variable avec la durée du service. Il fut fixé pour les mineurs (à cette époque la caisse comprenait 3.774 membres) à :

Pour service de 1 à 15 ans. . . .	97 fr. par an
— de 15 à 35 —	120 —
— au delà de 35 —	135 —

Les victimes d'accidents devaient avoir leur temps de service accru de vingt ans.

J'ai tenu à indiquer la marche de l'une des caisses minières les plus importantes (*) dans son développement jusqu'à la loi de 1854, afin de bien montrer que celle-ci trouvait des organisations existantes, anciennes, qui avaient déjà acquis une expérience importante. Avant de passer à l'examen de cette loi, j'indiquerai encore quelles étaient les dispositions générales des statuts des caisses à ce moment et je ferai connaître la situation de ces caisses au point de vue des versements, des allocations, des dépenses, etc., à la fin de 1852 (**).

Les caisses s'étendaient en beaucoup d'endroits déjà sur les districts pour lesquels elles fonctionnent actuellement et nous retrouverons en 1883 les mêmes caisses qu'en 1852, avec d'autres nouvelles. Elles comprenaient, soit les mines d'un seul exploitant, soit celles de plusieurs exploitants dans un district déterminé; quelques-unes, comme celles de la Silésie notamment, s'appliquaient dès lors, comme aujourd'hui, à des usines en même temps qu'à des mines.

Les caisses comptaient généralement des membres stables ayant droit à toutes les allocations et des membres instables qui, tout en payant les mêmes cotisations que les stables, n'avaient droit qu'à une partie des allocations, par exemple le traitement et les médicaments gratuits et le salaire de maladie. Les stables se recrutaient parmi les instables remplissant certaines conditions d'âge, de santé, de stage, etc. Sur beaucoup de

(*) Le *Märkische Knappschaftsverein* comprenait en 1883 à lui seul 30.906 membres stables et 32.630 instables comme ouvriers des mines de houille et en tout 64.979 membres, c'est-à-dire un nombre plus grand que la moitié du total de nos mineurs en France.

(**) *Zeitschrift für Berg, Hütten und Salinenwesen* de 1854.

mines, il y avait encore une classe de manœuvres à la journée ne faisant point partie des caisses.

Les recettes des caisses provenaient principalement des versements des membres et des exploitants, plus de droits d'entrée et de mariage, d'amendes et des intérêts des capitaux.

Les cotisations des ouvriers étaient souvent proportionnelles aux salaires, d'autres fois fixées à des chiffres déterminés pour les diverses classes de membres (contre-mâtres, mineurs, rouleurs, etc.); on les retenait sur les salaires. Les cotisations payées n'étaient jamais remboursées à celui qui cessait d'être membre de la caisse, volontairement ou involontairement. La cotisation était en moyenne de 17 francs environ par ouvrier, en 1852, pour les caisses des houillères (voir le tableau n° 1, p. 413), soit de 4 p. 100 du salaire moyen annuel qui était de 420 fr.

Les versements des exploitants étaient diversement fixés. Dans beaucoup de districts c'étaient des fractions déterminées du produit net, le produit des parts libres mentionnées plus haut; dans d'autres districts des fractions données du produit brut, ou bien des sommes fixes, quelquefois, comme, par exemple, pour la plupart des exploitations du fisc, des sommes variables couvrant la différence entre les dépenses et les autres recettes. En général, les versements étaient inférieurs à ceux des membres, quelquefois ils étaient égaux, et exceptionnellement supérieurs; pour quelques-unes des principales caisses communes d'exploitations houillères (celles d'Essen et de la Marche), ils atteignaient 50 p. 100 environ (voir le tableau n° 1); souvent les exploitants payaient le salaire de maladie pendant les quatre ou huit premières semaines, comme il a été dit. Les allocations fournies par les caisses bien organisées comprenaient :

1° Le traitement et les médicaments gratuits pour les membres, exceptionnellement pour les familles ;

2° Un salaire de maladie, lorsque la maladie ou les blessures ne provenaient pas de la faute de l'ouvrier : ce salaire de maladie était en moyenne de 60 à 75 centimes par jour ouvrable, c'est-à-dire de 40 ou 50 p. 100 du salaire ordinaire (qui était de 1^f,40 à 1^f,50);

3° Un secours d'enterrement en cas de mort des membres, variant de 11 à 27 francs ;

4° Une pension d'invalidé en cas d'incapacité de travail : cette pension était moyennement pour les mineurs de 40 centimes par jour ouvrable, soit de 30 p. 100 du salaire moyen ;

5° Une pension aux veuves de membres actifs ou d'invalides ; la pension des veuves était en général moitié de celle du mari ;

6° Un secours aux orphelins et quelquefois aux enfants de membres nécessiteux jusqu'à l'achèvement de la quinzième année : ce secours était de 1^f,25 à 2^f,50 par mois, soit de 5 ou 10 centimes par jour ouvrable (25 jours par mois) ;

7° Des secours extraordinaires, l'entretien d'écoles, etc.

Quant à la gestion des caisses minières, elle appartenait, avant 1854, entièrement à l'administration des mines. L'employé de district (*Bergrevierbeamte*) en était chargé et était aidé par les anciens (*Älteste*.) Ceux-ci étaient élus en nombre déterminé par les ouvriers, et l'administration des mines choisissait dans ce nombre. Les anciens n'avaient d'ailleurs que voix consultative. Quelquefois les exploitants élisaient aussi des anciens ; mais, en général, ils ne participaient aucunement à l'administration des caisses, tout en payant leur part (*).

(*) Nous rappelons du reste qu'en 1854 comme après, jusqu'à l'affranchissement de l'industrie minière par la nouvelle législation, l'administration des mines avait en main la répartition des ouvriers mineurs dans les diverses exploitations; elle fixait les salaires et, bien plus, elle déterminait les quantités à extraire

Il existait à la fin de l'année 1852, en Prusse, 53 caisses minières communes gérées par l'administration des mines, sans compter un certain nombre d'autres indépendantes. Ces 53 caisses possédaient un capital de 4.842.795 francs (tableau n° 1) pour 51.060 membres actifs, ce qui correspond à 87^f,77 par membre. Leurs recettes totales étaient de 1.778.576 francs, soit par membre actif 34^f,80, dont :

Versement des membres	15 ^f ,76	soit 48 p. 100
— des exploitants	13,93	40
Intérêts des capitaux	4,10	12
Total égal.	34 ^f ,80	100 p. 100

Les dépenses totales, de 1.456.603 francs, soit, par membre actif, de 28^f,50, se décomposaient ainsi :

Traitement et médicaments	5 ^f ,34
Salaires de maladie	4,94
Pensions d'invalides	5,96
— de veuves	5,16
— d'orphelins	2,26
Frais d'écoles	2,46
Secours d'enterrement et extraordinaires . .	1,58
Frais d'administration	0,78
Total général.	28 ^f ,50

de manière qu'il restait un excédent de 6^f,30 par membre ou 321.973 francs au total.

dans chaque mine et les prix de vente; elle dirigeait les exploitations de manière à assurer un certain débit à chacune des mines concurrentes (voyez Klostermann, *Preussisches Bergrecht*). Ces règles établies par l'ancien droit allemand étaient partiellement tombées en désuétude depuis 1850, mais elles n'ont été supprimées légalement qu'en 1860. Ainsi en 1856 encore, sur une plainte des ouvriers concernant la gêne de leur circulation d'une exploitation à une autre, l'administration supérieure des mines, à Dortmund, a décidé qu'ils ne pouvaient donner congé que pour quitter entièrement le district et qu'à l'intérieur de ce district leur transfert d'une exploitation à une autre dépendait de l'employé de l'administration des mines. Une pareille organisation devait tomber d'elle-même devant l'énorme développement de l'industrie minière.

Cette situation des caisses existantes n'était donc pas mauvaise.

Loi du 10 avril 1854 sur les *Knappschaftsvereine*.

L'exposé des motifs de la loi du 10 avril 1854 reconnaissait « que la tendance manifestée récemment d'assurer le sort des ouvriers par des caisses de maladie, d'enterrement, de secours et d'épargne ne faisait que suivre pour d'autres industries ce qui avait été fait depuis longtemps dans l'industrie minière, pour laquelle les plus anciennes ordonnances renfermaient des prescriptions assurant le bon fonctionnement des caisses minières. »

L'exposé des motifs ajoutait « que dans certains districts les anciennes prescriptions étaient tombées en désuétude, et qu'il n'y existait point de *Knappschaftsvereine*; que l'expérience avait montré que l'on ne pouvait obtenir la constitution volontaire des caisses communes pour les intéressés; que c'est là ce qui conduisait à des prescriptions légales obligeant à constituer partout des caisses minières et posant les principes généraux de leur constitution et de leur administration, laissant d'ailleurs les mesures de détail à fixer par les statuts. »

Nous indiquerons sommairement les principes de cette loi, qui ont été reproduits en majeure partie par la loi générale sur les mines de 1865.

Le district sur lequel devait s'étendre chaque *Knappschaftsverein* était déterminé par le ministre, après entente des intéressés et de l'autorité minière.

La nature des allocations que chaque caisse devait au moins à ses membres était fixée d'après l'expérience acquise dans les caisses existantes.

La loi ne prescrivait rien sur le taux des salaires de maladie; mais, dans l'exposé des motifs, on indiquait

comme utile de les tenir en dessous des salaires de travail.

La loi ne prescrivait également aucun minimum pour les pensions et secours.

Les ressources des caisses devaient provenir de contributions des ouvriers, proportionnelles à leur salaire (sans taux fixé), et de versements des exploitants pouvant varier de 50 à 100 p. 100 des contributions des ouvriers.

L'administration des caisses était confiée à un comité élu moitié par les ouvriers, moitié par les exploitants, sous la surveillance de l'administration des mines qui devait déléguer aux séances du comité un commissaire auquel était soumis le choix des employés des caisses et qui confirmait leur nomination.

Les caisses existantes étaient maintenues, sauf à mettre leurs statuts d'accord avec la loi. Les statuts devaient être approuvés par le ministre, et cette approbation conférait aux caisses la qualité de personnes morales.

L'instruction ministérielle pour l'application de la loi disait que les statuts devaient prévoir la formation d'un fonds de réserve; qu'il était préférable de déterminer des contributions fixes pour les ouvriers afin d'éviter les complications et le manque d'équité, qui résulterait de ce que des personnes payant divers taux de cotisation jouiraient de bénéfices égaux; elle ajoutait qu'il fallait tendre à obtenir partout des exploitants une contribution égale à celle des ouvriers.

Loi générale sur les mines du 24 juin 1865 (*) et situation actuelle des caisses.

Nous voici arrivé à la loi de 1865 et à la situation actuelle des caisses minières en Prusse.

La loi de 1865 a conservé l'organisation générale des caisses minières, prévue par la loi de 1854. La formation

(*) *Annales des mines*, 1^o livr. de 1868.

de caisses pour les ouvriers de toutes les mines en exploitation est obligatoire, comme l'avait prescrit cette dernière loi. Les *Knappschaftsvereine* sont formés pour des districts fixés par entente amiable des intéressés et, à défaut de cette entente, par l'administration supérieure des mines. Ces districts sont, en général, limités géographiquement; quelquefois, ils comprennent seulement les mines d'une espèce déterminée ou les exploitations d'un seul propriétaire. Ainsi les *Knappschaftsvereine* de Saarbrück et d'Ibbenbüren comprennent exclusivement les ouvriers de toutes les mines royales des districts; celui de Pless (Silésie), les ouvriers de toutes les mines du prince de Pless; les autres caisses communes mentionnées spécialement sur nos tableaux s'étendent, au contraire, à toutes les mines d'un district déterminé, et celles de la Silésie supérieure notamment comprennent des mines fiscales en même temps que des mines privées (*).

Organisation des caisses. — Participants. — Tous les ouvriers, à l'exception généralement de ceux occupés à des travaux tout à fait temporaires, doivent participer aux caisses.

Les membres se distinguent presque partout en stables et en instables, ces derniers devenant stables au bout d'un certain temps de service. Ainsi, en 1883, les caisses que nous avons spécialement étudiées comprenaient :

	Exploitations diverses.	Mines de houille.	
Membres { stables	99.730	91.608	} 172.423
{ instables	88.531	80.815	

Toutes les caisses en Prusse, en général :

Membres { stables	141.637	96.529	} 179.579
{ instables	136.646	83.050	

(*) Nous nous sommes attaché surtout à l'étude des caisses des exploitations houillères qui sont d'ailleurs de beaucoup les

Ces chiffres montrent que les premières caisses comprennent presque tous les ouvriers des mines de charbon de la Prusse, 172.423 sur 179.579, et que les ouvriers des mines de charbon forment 60 p. 100 de tous les ouvriers affiliés aux caisses minières (des mines, salines et usines).

En général, et à l'exception des ouvriers occupés temporairement, tout ouvrier sain de corps et d'esprit qui est admis au travail dans une exploitation de mines, est immédiatement affilié à la caisse minière comme membre instable. Quelques statuts fixent des limites d'âge, 14 ou 16 ans comme minimum, 45 ans comme maximum; mais, dans tous les cas, les règlements de travail renferment toujours des dispositions limitatives à cet égard.

Pour devenir membre stable, il faut, au contraire, remplir certaines conditions, outre celle d'une bonne santé constatée par le médecin de la caisse. Il faut être âgé, en général, de 18 ans au moins et de 40 au plus, au *Verein* de la Marche même de 36 ans au plus.

Il faut avoir travaillé dans les mines faisant partie du *Verein* un temps minimum d'un an, en général, quelquefois 2, 3 et même 5 ans (*Wurmverein*), comme instable.

Certaines caisses reçoivent cependant comme stables les ouvriers qui ont travaillé régulièrement comme instables pendant dix ans au moins, bien qu'ils aient dépassé la limite d'âge et qu'ils aient une mauvaise santé (*Saarbrück*).

Les membres stables sont, en général, divisés en plusieurs classes par les statuts (voir les tableaux); il y a presque toujours deux classes d'employés, suivant les fonctions ou les traitements, et la plupart du temps aussi deux

plus importantes. Nous ferons remarquer que quelques-unes d'entre elles, et notamment celles de la Silésie comprennent d'autres mines et des usines qu'il n'a pas été possible de séparer dans notre étude.

classes d'ouvriers, la seconde classe versant moins que la première, mais n'ayant droit aussi qu'à des salaires de maladies et à des pensions moindres. Il faut, la plupart du temps, un stage d'un ou deux ans comme membre de la deuxième classe pour pouvoir passer dans la première. C'est le comité de la caisse qui décide des avancements.

La qualité de membre se perd presque toujours dans les conditions suivantes :

Le départ du travail sans congé régulier ;

La perte des droits civiques ;

La dissimulation de maladies qui auraient empêché l'admission comme membre stable ;

Le non paiement des contributions pendant un temps déterminé, trois mois en général.

Dans certaines caisses, la qualité de membre et les droits acquis ne peuvent être conservés que si l'ouvrier continue le travail des mines (*Vereine de la Marche et d'Essen*). Dans d'autres, les droits à pension acquis par les membres pour eux et leurs familles peuvent être conservés par un paiement déterminé, comme, par exemple, 0,625 (50 *pfennig*) par mois à *Saarbrück*, ou par le versement des cotisations ordinaires (*Silésie supérieure*). Dans d'autres encore, tous les droits acquis peuvent être conservés par le versement de la cotisation du membre augmentée de celle habituelle des exploitants (§ 14 des nouveaux statuts du *Wurmverein*).

En général aussi, les droits acquis par la participation à une caisse, pendant un certain nombre d'années de service, sont perdus par l'admission à une autre caisse. Toutefois les statuts récents contiennent une disposition d'après laquelle les droits restent acquis, pour le même nombre d'années de service, et sont reconnus aux membres entrant dans une autre caisse, à condition de réciprocité. Cette disposition très libérale tend à se généraliser et elle prépare ainsi un état de choses conforme à

ce qui sera certainement prescrit par la loi, le jour où la législation sociale aura été complétée par les prescriptions générales sur les pensions d'invalides, de veuves, etc., législation qui est encore à l'étude en Allemagne.

Recettes des caisses. — Les recettes des caisses proviennent, en dehors de quelques petites sommes pour droit d'entrée ou d'avancement et pour amendes, des intérêts des capitaux d'une part, et des versements des membres et des exploitants d'autre part.

La loi de 1865 laissait la faculté de fixer les contributions des ouvriers proportionnellement aux salaires ou à des chiffres déterminés. Dans la plupart des statuts des caisses principales, on trouve jusqu'ici des chiffres déterminés pour chaque classe de membres, chiffres qui peuvent, d'ailleurs, être modifiés si les besoins de la caisse l'exigent.

Il est probable que dans le remaniement des statuts, occasionné par les lois sur l'assurance, on adoptera, au contraire, des contributions proportionnelles aux salaires, en conformité aux prescriptions de ces lois, et comme cela a eu lieu déjà dans les nouveaux statuts du *Wurmverein* dont nous avons annexé un extrait. Notons que les statuts de quelques caisses dispensent des versements les membres qui ont un nombre d'années de service déterminé, trente, quarante ou cinquante ans; les membres sont toujours dispensés de versements pendant le temps de leur service militaire légal, tout en conservant leurs droits.

En examinant le tableau n° 2 des versements statutaires (p. 414-415), on reconnaît que la *moyenne* des contributions des ouvriers aux caisses des mines de houille est de 34^f,12 (27^{marcs},30), celle de toutes les caisses de Prusse de 30 francs (24 marcs) par membre et par an, le *maximum* étant celui des mines de Saarbrück avec 53 francs

(42^{marcs},40) et le *minimum* celui de Basse-Silésie et de Pless avec 27^f,50 (21^{marcs},90) et 22^f,75 (18^{marcs},20). Bien que le salaire moyen soit aussi le plus élevé à Saarbrück, 1.175 francs par an, contre une *moyenne générale* pour les mines de houille de 952 francs et un *minimum* de 750 francs en Silésie (Pless, 712 francs), c'est aussi à Saarbrück que la contribution est *la plus élevée* proportionnellement aux salaires, soit de 4,51 p. 100 contre une moyenne de 3,58 p. 100 pour les caisses des exploitations houillères et 3,08 p. 100 pour toutes les caisses de la Prusse, et un minimum (des houillères) de 3,1 p. 100 (*Vereine de la Marche et d'Essen*).

Lorsqu'il y a des caisses spéciales de maladie, les membres instables ne contribuent qu'à celles-ci.

Versements des exploitants. — Les versements des exploitants sont fixés, en général, à tant pour cent de ceux des ouvriers, et ils sont presque partout voisins de 100 p. 100, bien que la loi de 1865 n'ait prescrit, comme minimum, que 50 p. 100. Toutefois, dans les caisses de la Silésie, les exploitants versent une somme fixe par ouvrier, laquelle correspond de 82 à 90 p. 100. La *moyenne générale* des mines de houille est 98,4 p. 100 et la moyenne par ouvrier participant 33^f,50 (26^{marcs},80) ou 3,52 p. 100 du salaire.

Les exploitants sont obligés de faire les retenues voulues sur les salaires de leurs ouvriers et d'en opérer le versement avec celui de leurs cotisations; ces versements peuvent faire l'objet d'une exécution par voie administrative.

Recettes accessoires. — Parmi les recettes accessoires, intérêts des capitaux, dons, etc., des caisses minières, il faut citer le produit des amendes, tant de celles infligées comme peines disciplinaires aux membres que de celles

infligées aux exploitants, conformément aux prescriptions légales.

Allocations des caisses. — Les allocations qu'accordent les caisses minières peuvent être distinguées en temporaires et permanentes.

a. Les allocations temporaires comprennent :

Traitement et médicaments. — 1° Le traitement et les médicaments gratuits en cas de blessure ou de maladie sont accordés, en général, pour un temps illimité aux membres stables et aux invalides pensionnés, et pour un temps limité à trois, quatre ou six mois aux membres instables, sauf en cas d'accident. Cependant dans la Silésie supérieure, ces allocations ne sont accordées aux membres stables que pour six mois en règle générale.

Quant aux familles des membres, elles ne jouissent pas, en général, de ces allocations; en Silésie, on leur accorde cependant le traitement gratuit, et en Basse-Silésie même, les médicaments pendant six mois; à Saarbrück, cela a lieu exceptionnellement en cas d'indigence.

Salaires de maladie. — 2° Le salaire de maladie varie beaucoup d'une caisse à l'autre, depuis 25 jusqu'à près de 50 p. 100 du salaire moyen journalier (voir tableau n° 3, p. 416-417). Il est donné aux membres pour un temps limité à six mois au plus pour les stables, après lequel ils sont pensionnés et à trois mois pour les instables qui perdent ensuite tout droit. Quelques statuts prévoient un salaire de maladie plus élevé pour le cas d'accident. Beaucoup de caisses n'accordent le salaire de maladie qu'à partir du quatrième jour, pour éviter les maladies simulées, et l'expérience a prouvé que cette mesure est très utile.

Le *maximum statutaire* pour les ouvriers stables de première classe est accordé par les caisses de la Ruhr; il est de 1^f,69 par jour, soit de 50 p. 100 du salaire; le

minimum est celui de la caisse d'Eschweiler, 0^f,93, soit 30 p. 100 du salaire.

La *moyenne générale* des salaires de maladie pour les membres stables et instables, est :

	Salaire moyen de maladie.	Pour 100 du salaire.
En Prusse, en général de	0 ^f ,99	30
Pour les mines de houille. . . .	1,07	34

et parmi celles-ci :

A la caisse d'Essen, maximum. . .	1 ^f ,22	36
A celle d'Eschweiler, minimum. .	0,86	28
En Basse-Silésie.	1,19	Maximum. . 47
A Saarbrück	0,98	Minimum. . 25

Les salaires de maladie ne sont accordés, presque partout, que pour les jours ouvrables.

Secours d'enterrement. — 3° Les secours d'enterrement consistent en une somme fixe, variant de 19 à 93 fr. d'une caisse à l'autre, et qui est doublée ou triplée en cas de mort par accident (tableau n° 4, p. 418-419).

Les secours temporaires sont donnés dans quelques districts par des caisses spéciales de malades (*Krankencassen*), lesquelles, d'après la modification introduite par la loi organique des mines de 1865, peuvent être séparées des *Knappschaftscassen* qui restent alors seulement des caisses de pensions; toutefois, les caisses de malades administrées par des comités locaux demeurent toujours sous la surveillance des comités des caisses minières proprement dites. Les ressources des caisses de malades proviennent, la plupart du temps, de contributions variables avec les besoins.

On admet, en général, qu'il est préférable de restreindre le rayon des caisses de malades afin de permettre un contrôle plus efficace; ainsi il existe des caisses de malades nombreuses pour les exploitations de l'ancien duché de

Nassau, tandis qu'il s'y trouve une seule *Knappschafts-casse*; le rayon de la caisse des malades est divisé en districts, pour chacun desquels sont élus des anciens qui sont les organes du comité.

b. Les allocations permanentes des caisses minières sont les pensions d'invalides et de veuves, les secours aux orphelins, et les secours d'éducation ou l'entretien des écoles.

Pensions d'invalides. — 1° Des pensions à vie sont accordées aux membres stables des caisses minières frappés d'incapacité de travail, sans qu'il y ait de leur faute, et aux membres instables en cas d'accident.

L'invalidité est constatée par le comité de la caisse, sur le rapport du médecin, et après qu'il a entendu le patron et l'ouvrier.

Il faut bien remarquer ici que *ni la loi, ni les statuts allemands ne connaissent la retraite d'âge proprement dite. L'invalidité seule, c'est-à-dire l'incapacité de travail, donne droit à pension, et lorsqu'un ouvrier qui a été déclaré invalide redevient capable de travailler, il rentre d'office parmi les actifs, quel que soit son âge.*

Il y a parmi les 171.367 membres stables, à la fin de 1883, un nombre de 5.920 âgés de plus de cinquante-cinq ans, soit 3,5 p. 100 à peu près. Dans plusieurs statuts, on a prévu le cas où des ouvriers ne seraient que partiellement incapables de travailler et on leur a stipulé alors une demi-pension.

Les pensions d'invalides sont fixées d'après la classe à laquelle appartient le membre et d'après le nombre d'années de service actif qu'il compte. Ce temps est augmenté, en général, de quinze à vingt ans, lorsque l'invalidité est la conséquence d'un accident. Les membres instables, victimes d'accidents, rentrent généralement pour le décompte de la pension dans la classe la plus basse des membres stables.

Le taux des pensions est très variable d'un bassin à

l'autre (tableau n° 5, p. 420-421). La *moyenne des pensions* a été, en 1883 :

	Par jour ouvrable.	Pour 100 du salaire.
En Prusse en général	0 ^f ,93	28,8
Pour les caisses des houillères.	0,98	30,8

parmi celles-ci :

A Saarbrück, maxima	1 ^f ,30	33,4
A Pless, minima	0,60	26
En Basse-Silésie	0 ^f ,89	Maxima. . . 36
A Mülheim	0,69	Minima. . . 20

Comme exemple, nous citerons encore la pension moyenne des diverses classes d'ouvriers après trente ans de service, pour quelques-unes des principales caisses d'exploitations houillères (*). Cette pension est de :

	EN CAS ORDINAIRE.		EN CAS D'ACCIDENT	
	par jour ouvrable.	en p. 100 du salaire.	par jour ouvrable.	en p. 100 du salaire.
A Saarbrück	1 ^f ,50	38	1 ^f ,95	49
Vereine de la Marche et d'Essen	I ^{re} classe. 1,25 II ^e classe. 1,00	} 34	1,50 1,20	} 41
Silésie supérieure . . .	II ^e classe. 0,90 III ^e classe. 0,67		} 32		1,50 1,12	} 52
Silésie inférieure (ma- xima)	I ^{re} classe. 1,44 II ^e classe. 0,89	} 46		1,79 1,11	} 58
La moyenne étant à peu près.			25			51

Ajoutons encore que l'âge moyen d'invalidité, pour toutes les caisses de la Prusse, est de 48 ans à peu près, l'âge le plus bas étant celui de la caisse de la Marche avec 44^{ans},3 et le plus élevé celui d'Eschweiler avec 56^{ans},5; à Saarbrück, c'est 49^{ans},1.

(*) L'invalidité se produit en moyenne pour ces caisses à 50 ans à peu près, de manière qu'en admettant 20 ans pour l'âge moyen d'entrée, le temps de service sera en moyenne de 30 ans pour les membres invalides.

Pensions de veuves. — 2° Des pensions à vie ou jusqu'à un nouveau mariage, sont accordées aux veuves des membres stables ou des invalides, ainsi qu'aux veuves des membres instables morts à la suite d'accidents.

Le taux des pensions de veuves est aussi très différent, suivant les caisses. En général, la pension de la veuve oscille entre 50 et 66 p. 100 de celle du mari s'il a été invalide, ou de celle à laquelle le mari mort, actif, aurait eu droit comme invalide (tableau n° 6, p. 422-423).

En 1883, la moyenne des pensions de veuve, a été de :

	Pension par jour ouvrable.	Pour 100 de la pension du mari.
A Saarbrück	0,72	60
Marche et Essen	0,66	66
Silésie supérieure	0,39	60
— inférieure	0,56	60
Moyenne des houillères	0,56	62
— de toute la Prusse	0,45	48

Secours aux orphelins et aux enfants d'invalides.

— Toutes les caisses minières accordent des secours aux orphelins des membres stables, en général jusqu'à la fin de la quatorzième année, doubles, la plupart du temps, pour les orphelins de père et de mère. Ces secours sont fixés par jour (tableau n° 4), comme il suit :

	Orphelins de père.	Orphelins de père et mère.	
A Saarbrück pour tous	0,125	0,375	
Silésie inférieure pour ouvriers. {	I ^{re} classe.	0,162	0,162
	II ^e classe.	0,127	0,127
	III ^e classe.	0,084	0,084
Silésie supérieure pour ouvriers. {	II ^{re} classe.	0,110	0,270
	III ^e classe.	0,100	0,250
	I ^{re} classe.	0,220	0,440
Marche et Essen pour ouvriers. {	I ^{re} classe.	0,220	0,440
	II ^e classe.	0,130	0,260

La moyenne des secours payés, en 1883, a été :

	Par enfant et par jour.
Pour les caisses des houillères	0 ^f ,147
— — de la Prusse	0,135

Une chose intéressante à noter, c'est que certaines caisses, comme celles de la Ruhr, accordent les mêmes secours aux enfants des invalides pensionnés.

Les statuts prévoient aussi le secours pour les orphelins des membres instables tués par accident; quelques-uns l'accordent également aux orphelins des instables qui ont plus de dix ans de service.

Secours pour frais d'éducation et d'école. — Quelques statuts prévoient des secours d'éducation pour les enfants des membres actifs indigents.

Quant aux frais d'écoles, et spécialement d'écoles élémentaires et d'écoles professionnelles, ils étaient supportés jusqu'ici par plusieurs caisses (tableau n° 4); mais la tendance générale est de décharger les caisses de ces frais. Le total des sommes payées par les caisses dans ce but, en 1883, a été de :

	Par membre actif.
Caisses des houillères	421.902 fr. 2 ^f ,24
— de la Prusse	459.860 1,49

le maximum de Saarbrück ayant été de 9,64.

Secours extraordinaires. — La plupart des statuts prévoient des secours extraordinaires en cas de besoins pressants et lorsque les fonds des caisses les permettent.

Ces secours ont été, en 1883 (tableau n° 4) :

	Par membre actif.
Caisses des houillères	60.144 fr. 0 ^f ,32
— de la Prusse	140.011 0,45

Observations sur les allocations. — D'une manière générale les statuts prévoient que *les allocations, tant temporaires que permanentes, peuvent être réduites si les ressources des caisses ne suffisent pas.* Aussi cette mesure a-t-elle été appliquée plus d'une fois, comme par exemple pour les caisses de la Ruhr, d'Eschweiler, etc. Ces réductions ont donné lieu à des contestations judiciaires entre les caisses et les participants. D'après les décisions du tribunal supérieur de l'Empire, les réductions ne peuvent pas s'appliquer aux pensions des veuves et aux secours d'orphelins qui ont déjà été payés à un taux déterminé; elles ne peuvent s'appliquer aux pensions d'invalides qui ont déjà été payées à un taux déterminé, qu'autant que la réduction est faite simultanément et proportionnellement pour toutes les classes de participants. Les participants acquièrent donc pour eux-mêmes plutôt un droit à secours variable qu'à pension fixe.

Il va de soi qu'une modification des statuts relative aux allocations s'applique à tous les ayants droit à venir, y compris les veuves et les orphelins.

Ajoutons encore que les membres qui ont acquis indûment des allocations, soit en simulant une maladie, soit par des indications fausses, peuvent être punis d'amendes et même de l'exclusion de la caisse.

Administration des caisses. — L'administration des caisses est confiée à des comités composés d'un nombre variable de membres suivant les caisses. Ainsi le comité du *Verein* de Saarbrück ne comprend que 6 membres pour 24.953 participants, soit 1 pour 4.000 environ; celui de la Silésie supérieure, le même nombre pour 42.768 participants, soit 1 pour 7.000. Au contraire, le comité du *Verein* de la Marche comprend 20 membres pour 64.979 participants, soit 1 pour 3.000; celui de la Wurm, 10 membres pour 5.765 participants, soit 1 pour 600.

Les membres des comités sont élus par moitiés par les exploitants et par les *anciens* (*) des ouvriers.

Les anciens eux-mêmes, qui sont les organes entre le comité et les participants des caisses, sont élus par ceux-ci. Leur nombre, variable d'une caisse à l'autre, est généralement égal au nombre des districts; ces districts sont établis par le comité, comme à Saarbrück, ou résultent des exploitations mêmes, comme en Silésie où chacune d'elles forme normalement un district; celles comprenant moins de 300 ouvriers peuvent être réunies par le comité en un seul district; celles comprenant plus de 1.000 ouvriers, divisées en plusieurs.

L'élection des anciens se fait par districts. Sont en général électeurs tous les membres stables actifs, quelquefois aussi les instables; sont éligibles les membres actifs ou invalides, la plupart du temps après un certain nombre d'années de service seulement, toujours à la condition de savoir lire et écrire. Les élections sont faites pour une durée de 3, 5 ou 6 ans.

Les anciens reçoivent presque toujours une certaine rétribution.

Leurs fonctions consistent, en dehors de la nomination des membres du comité pris parmi eux ou non, dans la surveillance de l'exécution des prescriptions statutaires par les participants; ils transmettent au comité les observations que leur suggère cette surveillance et les *desiderata* des participants.

Pour l'élection des membres du comité, chaque ancien dispose, en général, d'une voix par chaque centaine d'ouvriers occupés dans son district; de même chaque exploitant dispose d'une voix par centaine d'ouvriers occupés par lui.

Sont éligibles, comme membres du comité, les pro-

(*) *Knappschaftsälteste.*

priétaires des mines, leurs directeurs ou employés, les employés royaux de l'administration des mines et usines, et les anciens. Les participants des caisses ne peuvent se récuser comme membres du comité que pour les motifs qui permettent de refuser les fonctions de tuteur.

Les fonctions de membre du comité sont gratuites; toutefois, on accorde souvent des indemnités aux anciens; les frais de voyage ou autres analogues sont remboursés.

Le comité qui élit son président prend ses résolutions à la majorité des voix des membres présents, dont il faut, d'ailleurs, pour la validité des résolutions, un nombre minimum déterminé dans chacune des parties représentant les exploitants ou les anciens. Pour le *Verein* de la Marche, par exemple, ce minimum prescrit est de cinq.

Le comité représente la caisse judiciairement et extra-judiciairement, nomme et révoque les médecins et employés, gère toutes les affaires, fait les achats, ventes, contrats, etc.

Le comité établit un budget qui est, en général, communiqué aux exploitants et aux anciens, quelquefois même discuté par eux en assemblée générale (Silésie supérieure).

Le comité délègue l'un de ses membres pour surveiller la gestion de la caisse. Il examine les comptes établis par le caissier après la fin de l'exercice et lui en donne décharge, quelquefois seulement après les avoir communiqués pour observations aux exploitants et aux anciens. Dans tous les cas, un rapport sur la gestion de l'exercice est adressé par le comité aux exploitants et aux anciens, et ce rapport, contenant au moins un extrait des comptes, est communiqué aux participants.

Des plaintes contre la gestion du comité peuvent être présentées en première instance à l'administration supérieure des mines (*Oberbergamt*), en deuxième instance au ministre des travaux publics.

Fonds de réserve. — Il nous paraît intéressant d'entrer dans quelques détails sur la question des fonds de réserve des caisses de prévoyance.

La plupart des statuts prescrivent que le comité doit prévoir dans le budget la formation d'un capital de réserve *convenable* pour des nécessités imprévues, sans indiquer le montant que devra atteindre ce capital. Dans d'autres, comme ceux du *Verein* de la Marche et d'Essen, on prescrit (conformément à la loi de 1854) que le fonds de réserve devra être de 187^f,50 (150 marcs) par membre actif de première classe, sans qu'il ait besoin toutefois de dépasser 1.875.000 francs (1.500.000 marcs). Dans d'autres enfin, comme ceux de la Silésie, rien n'est prévu au sujet du fonds de réserve, ce qui n'empêche pas qu'il y ait aussi là des fonds de réserve atteignant, par exemple pour le *Verein* de la Haute-Silésie, la somme de 234 francs par membre stable.

La forme même dans laquelle les statuts parlent du fonds de réserve : « Capital convenable pour les nécessités imprévues », montre qu'on n'y a point visé un fonds de réserve analogue à ceux des sociétés d'assurances, fonds qui permettraient de faire face, à un moment donné, à tous les droits acquis si, par suite d'une circonstance ou d'une autre, les versements à la caisse venaient à cesser. Il suffit de rapprocher les dépenses en pensions pour une seule année du *Verein* de la Marche, par exemple, qui sont de :

Pour invalides	4.418.926 fr.
— veuves	738.301
— orphelins	700.431
Total	3.457.650 fr.

du chiffre de l'avoir de ce *Verein*, fin 1883, qui est de 2.362.556 francs, pour reconnaître que sa réserve ne suffirait pas à couvrir ses engagements pour une seule

année. Cette situation, qui paraît, au premier abord, très précaire, a donné lieu à des attaques assez vives contre les *Knappschaftsvereine*. Mais on a fait remarquer fort justement que ces caisses ne sauraient être comparées en aucune manière aux sociétés d'assurances. M. le conseiller des mines Klostermann, a insisté spécialement sur ce point (*) qu'un pareil rapprochement ne peut être fait :

1° Parce que les charges des caisses minières sont supportées simultanément par les ouvriers (participants), *assurés* et par les exploitants *non assurés* ;

2° Parce qu'il y a une obligation légale pour tous les exploitants et ouvriers de districts et de catégories déterminés de participer maintenant et plus tard aux caisses minières.

M. Klostermann montre ensuite que les sommes provenant des versements des ouvriers sont absorbées en grande partie par les secours de maladie, que, par conséquent, les pensions sont payées en grande partie par les versements des exploitants, et que l'ouvrier *n'a point acquis par ses versements un droit absolu à la pension statutaire*. Cela résulte du reste également du fait que le taux des pensions peut être réduit, si les ressources de la caisse sont insuffisantes, ainsi que nous l'avons indiqué. Il importe de bien faire ressortir ce point par lequel la législation antérieure en Allemagne diffère essentiellement de la nouvelle législation sur l'assurance contre les maladies et les accidents. Cette dernière crée, en effet, aux ouvriers des droits positifs aux allocations qu'elles stipulent.

Le fonds de réserve des *Knappschaftsvereine* ne répond donc pas au but du fonds de réserve d'une caisse d'assu-

(*) Brassert, *Zeitschrift für Bergrecht*, 1879, p. 63.

rances et, ainsi que l'observe M. Klostermann, il ne serait pas nécessaire qu'il réponde à ce but, les caisses minières pouvant être assimilées, à cause de l'obligation de participation créée par la loi, à une communauté telle que la commune, l'État ou l'Église, dont l'existence continue est assurée. Toutefois, ceci n'est vrai qu'autant que les caisses minières comprennent de vastes districts tels que la ruine, même complète, de l'industrie minière d'une région permette encore aux autres de pourvoir aux besoins des caisses, et l'on est conduit ainsi naturellement à la mutualité générale pour tout un pays, comme dans l'application de la loi sur les assurances contre les accidents on l'a établie pour toutes les mines de l'Empire.

Dans la situation actuelle, aucun des *Vereine* de la Prusse ne serait en état de continuer ses allocations statutaires plus de deux ou trois années, dans le cas où l'industrie minière viendrait à cesser complètement dans le district qu'il embrasse, par suite de circonstances ou d'autres. Il est évident que, sous ce rapport, les grandes associations offrent par leur grandeur même plus de sécurité que les autres ; mais si l'on fait abstraction de cette circonstance, on trouve que c'est précisément la plus grande association, celle de la Marche, pour laquelle le rapport entre le fonds de réserve par membre stable et le montant actuel de ses obligations comme pensions également par membre stable est le plus faible et égal à :

$$\frac{75 \text{ fr.}}{90 \text{ fr.}} = 0,833 \text{ (déduit du tableau n° 7),}$$

ce rapport étant de 2,5 à peu près pour Saarbrück, et de 3,33 dans la Silésie supérieure. Bien que ces fonds de réserve ne soient nullement très élevés, il importe de remarquer que si la plupart des *Vereine* sont en mesure de mettre encore quelque chose à la réserve, cela tient uniquement à la présence d'un grand nombre de membres

instables, lesquels n'ont droit qu'aux secours de maladie, tout en payant une cotisation élevée. On peut compter pour les caisses des houillères qu'un instable coûte environ 14 francs par an de frais de traitement et de salaire d maladie, tandis qu'il paye en moyenne une cotisation de 26 francs, ce qui fait revenir à la caisse, avec le versement de l'exploitant, 52 francs. Au contraire, un membre stable qui paye 42 francs, ce qui fait un versement de 84 francs pour lui à la caisse, coûte en frais et salaire de maladie environ 16 francs, et en pensions d'invalides, de veuves et d'orphelins 86^f,03, soit ensemble 102 francs. Cela explique bien comment une caisse devra tomber immédiatement dans une mauvaise situation, si toutes les exploitations de son district viennent à ralentir leur marche, auquel cas les membres instables seront les premiers congédiés.

Surveillance de l'État. — La surveillance de l'État est toujours exercée par l'administration supérieure des mines (*Oberbergamt*).

Cette surveillance s'étend à l'observation des statuts et spécialement à la gestion normale de la fortune des caisses.

L'administration supérieure délègue, en général, un commissaire qui peut assister à toutes les séances du comité, suspendre les résolutions contraires aux statuts, examiner tous les procès-verbaux, les comptes et les livres et faire des revisions de l'état de la caisse.

Modifications aux statuts. — Les modifications aux statuts et notamment les changements des allocations sont sujets à un vote séparé des exploitants et des anciens, membres du comité, et ils doivent être soumis à l'approbation de l'administration supérieure des mines (*Oberbergamt*).

DEUXIÈME PARTIE.

1^o Loi d'Empire sur l'assurance des ouvriers contre la maladie.

(15 juin 1883.)

La loi d'Empire sur l'assurance contre la maladie renferme un ensemble de dispositions très détaillées dans l'examen desquelles nous entrerons d'autant moins qu'en général ces dispositions ne s'appliquent pas aux mines, pour lesquelles l'organisation actuelle des caisses minières peut être conservée, sauf en ce qui concerne certains points spéciaux.

Nous dirons donc seulement que cette loi, par le moyen d'une série d'institutions diverses : caisses locales, caisses de fabrique, caisses de travaux et de construction, caisses de secours déjà existantes ou à fonder et, entre autres, les caisses minières, caisses de corporations, et enfin par l'assurance communale, à défaut d'autres, *oblige* tous les ouvriers et petits employés occupés par des patrons, à être assurés, et elle donne en même temps la faculté aux ouvriers et employés non assujettis à cette obligation de s'assurer à l'une ou à l'autre des institutions. On peut donc dire avec raison que :

« Quand la loi sera entrée en vigueur, il ne se trouvera sur tout le territoire de l'Empire allemand aucune personne valide de la classe ouvrière, homme ou femme, qui ne soit ou qui ne puisse être assurée contre la maladie » (*).

Observons en passant que, d'après les relevés statistiques qui ont été faits, le nombre des personnes pour

(*) Bodenheimer, *Traduction et commentaire de la loi sur l'assurance contre la maladie* (Strasbourg).

lesquelles l'assurance est obligatoire, a été trouvé de 4 millions environ pour l'Empire et de 2.400.000 en Prusse, dont la moitié à peu près était déjà assurée par les caisses diverses existantes.

Obligation de l'assurance. — L'article premier de la loi prescrit que l'assurance contre la maladie est obligatoire pour les personnes occupées moyennant traitement ou salaire :

Dans les mines, les salines, les ateliers de préparation mécanique, les carrières et les fosses, dans les fabriques, etc.

Toutefois, l'assurance n'est obligatoire qu'en tant que l'occupation n'est pas temporaire de sa nature ou limitée d'avance par un contrat de travail à une durée de moins d'une semaine.

Pour les employés, l'assurance n'est obligatoire que si leur salaire ou traitement ne dépasse pas 8^f,44 (6^{marcs},75) par jour, en y comprenant les tantièmes et les allocations en nature.

La loi est applicable, dans son ensemble, aux mines qui ne participent pas aux caisses minières, telles que par exemple les mines de fer en Silésie; mais ces mines constituent des exceptions et nous les laissons en dehors de notre examen pour ne pas trop l'étendre; observons aussi que la loi s'applique aux carrières.

Pour ce qui concerne les mines affiliées à des caisses minières, le § 74 de la loi prescrit que :

« Les membres des caisses de maladie (caisses minières) établies d'après les prescriptions légales, sur les mines, ne sont tenus de participer ni à l'assurance communale, ni à aucune des caisses de maladie établies d'après la présente loi.

« Les allocations statutaires de ces caisses, en cas de maladie, devront être portées pour tous les membres, au

plus tard au 1^{er} janvier 1887, au minimum prescrit pour les caisses d'exploitation (de fabriques).

« Les modifications nécessaires aux statuts des caisses minières seront faites, à défaut de l'avoir été dans le délai voulu, conformément aux prescriptions ordinaires, avec effet légal par l'autorité chargée de la surveillance (*).

« Les prescriptions du § 26, alinéa 1, s'appliquent aux caisses minières.

« Au demeurant, les prescriptions légales existantes sur les caisses minières ne sont pas modifiées. »

Minimum des allocations. — Le minimum des allocations prescrites pour les caisses d'exploitation (de fabrique) et par conséquent applicable aux caisses minières, comprend :

1° A partir du commencement de la maladie les soins gratuits du médecin, les médicaments, ainsi que les lunettes, bandages herniaires et autres moyens curatifs ordinaires (§ 6);

2° En cas d'incapacité de travail, à partir du troisième jour après le commencement de la maladie et pour chaque jour ouvrable, un secours en argent (salaire de maladie) égal à la moitié du salaire journalier moyen de la classe à laquelle appartient l'assuré, en tant que ce salaire ne dépasse pas 5 francs (4 marcs); comme minimum de ce salaire journalier moyen, on devra considérer le salaire habituel des journaliers dans la localité, lequel est établi par l'autorité administrative supérieure (§§ 6 et 20).

3° Un secours pareil aux femmes en couches pendant une durée de trois semaines après leur délivrance (§ 20);

4° En cas de décès d'un assuré, un secours d'enter-

(*) L'administration supérieure des mines (*Oberbergamt*).

rement s'élevant à vingt fois le montant du salaire habituel des journaliers (§ 20);

Les salaires de maladie peuvent aussi être fixés par les statuts en tant pour cent des salaires effectifs des assurés, sans qu'il y ait alors un minimum prévu, mais le maximum ne devant pas dépasser 5 francs (4 marcs) (§ 64).

Les allocations stipulées sous 1° et 2° peuvent être remplacées par le traitement et l'entretien gratuit dans un hospice :

1° Pour les individus mariés ou ayant de la famille, avec leur consentement, ou même sans celui-ci si la nature de la maladie exige un traitement et des soins auxquels la famille du malade ne peut suffire;

2° Pour les individus qui n'ont pas de famille, sans condition.

Si le malade admis dans un hospice a une famille qu'il a entretenue jusqu'alors avec son salaire, il doit lui être accordé, en dehors du traitement et de l'entretien gratuits, la moitié du secours en argent stipulé au § 6 (§ 7).

(N° 26, *alinéa 1^{er}*.) — Tous les membres de la caisse ont droit aux allocations de celle-ci dans les limites du minimum légal (§ 20), à partir du moment où ils ont commencé à participer à la caisse (§ 19).

Il ne peut pas être exigé de droit d'entrée des membres nouveaux qui prouvent qu'ils ont déjà appartenu à un moment à une autre caisse ou qu'ils ont fourni des cotisations pour l'assurance communale, quand il ne s'est pas écoulé plus de treize semaines depuis ce moment.

Ces dernières prescriptions offrent peu d'intérêt pour les caisses minières, où la première est la règle et où la dernière ne fera que supprimer parfois une recette fort peu importante.

Après avoir indiqué les prescriptions de la loi sur l'assurance contre les maladies qui s'appliquent aux caisses minières, je crois utile d'en mentionner quelques-unes qu'on n'a pas voulu leur appliquer pour ne pas trop modifier leur organisation.

La loi prescrit nettement (§ 86) la division des caisses existantes, en caisses de maladie et caisses de pensions, là où les caisses existantes subvenaient aux deux espèces d'allocations. Cette division a été également recommandée par le ministre pour les caisses minières, tout en les maintenant sous la surveillance du même comité; pour le moment, on se contente généralement d'une division de la comptabilité, ainsi que nous le verrons plus loin.

La loi prescrit (§ 27) que les participants à une caisse de maladie qui abandonnent l'occupation (le genre de travail) motivant leur participation à ladite caisse, et qui ne deviennent pas, en choisissant une autre profession, par ce fait, participants de l'une des autres caisses prévues par la loi, peuvent continuer à participer à leur ancienne caisse, à la condition de verser régulièrement le total des cotisations statutaires, et de conserver leur domicile sur le territoire de l'Empire. Cette disposition, fort libérale, ne cadrerait pas avec l'organisation actuelle des caisses minières.

Il en est de même de la prescription du § 28, applicable à toutes les caisses, mais non à l'assurance communale, et d'après laquelle les participants qui perdent leur gagne-pain, conservent pendant trois semaines le droit au minimum des secours légaux, et seulement pendant un temps égal à celui de leur participation à la caisse, s'il a été de moins de trois semaines.

Quant aux versements des participants et des patrons, la loi stipule qu'ils seront pour les premiers les deux tiers, pour les derniers le tiers des sommes nécessaires

pour couvrir les dépenses des caisses, de même que, ainsi que nous l'avons vu, les exploitants de mines ne sont tenus de contribuer aux caisses minières que pour moitié des versements des participants.

2^o Loi sur les assurances contre les accidents de l'Empire d'Allemagne.

(6 juillet 1884)

La responsabilité civile des industriels en cas d'accidents survenus à leurs ouvriers a été soumise en Allemagne, jusqu'en 1871, aux prescriptions du droit commun, c'est-à-dire, dans les parties de la rive gauche du Rhin, aux dispositions de notre Code civil (articles 1382, 1383, 1384) qui engagent l'exploitant, même pour les fautes commises par ses employés, et dans les parties de la rive droite, aux règles découlant du droit romain et qui n'engagent l'exploitant qu'autant qu'il y a négligence de sa part dans le choix de ses employés (*).

Pour les chemins de fer seuls une loi du 3 novembre 1838 avait établi la responsabilité dans tous les cas où l'exploitant ne fournissait pas la preuve que l'accident était dû à la victime ou à des circonstances extérieures inévitables (de force majeure).

La loi du 7 juin 1871 sur la responsabilité (*Haftpflicht*, devoir de garantie) maintint la même disposition pour les chemins de fer (§ 1). Elle établit pour les mines, carrières et fabriques d'une manière générale la responsabilité des industriels pour les fautes de leurs employés (§ 2), en laissant en vigueur les prescriptions légales antérieures sur la responsabilité des exploitants pour leurs fautes

(*) *La législation sur les accidents dans les États de l'Europe*, par M. T. Bödiker, actuellement président de l'office impérial d'assurances.

propres. La réparation due, d'après cette loi, comprenait le remboursement des frais de traitement et du dommage pécuniaire résultant de l'incapacité de travail, en cas de blessures, le remboursement des mêmes frais et en plus de frais d'enterrement et le paiement d'une indemnité aux personnes dont la victime était le soutien légal, en cas de mort à la suite de l'accident.

Cet état de la législation qui correspondait en définitive au nôtre a donné lieu à beaucoup de procès entre patrons et ouvriers, les premiers n'étant guère disposés à reconnaître *à priori* une faute de leur part ou de la part de leurs employés, les seconds désirant naturellement trouver cette faute dans chaque accident, et croyant retirer des dispositions de la loi des avantages bien supérieurs à ceux qu'elle pouvait et devait leur assurer. Bien que les ouvriers pussent engager les procès sans frais pour eux, profitant du droit des pauvres, leur cause n'en était pas moins difficile à gagner. L'exposé des motifs du premier projet de loi d'assurances contre les accidents présenté au Reichstag, en 1881, disait (*), en parlant de la loi de 1871 :

« La preuve imposée à la victime de l'accident, d'une faute commise par l'exploitant ou par l'un de ses employés rend les bienfaits de la loi illusoire pour les ouvriers dans la plupart des cas. Cette preuve, difficile par elle-même, est rendue fréquemment impossible, et cela précisément dans les cas d'accidents résultant de forces élémentaires (naturelles) dont les conséquences sont les plus graves, comme dans les mines, etc., par la modification complète de l'état des lieux résultant de l'accident même, et par l'absence des témoins, victimes de l'accident tuées ou incapables de déposer. »

(*) Dans un passage auquel se réfère l'exposé des motifs de la loi du 6 juillet 1884.

Cet exposé des motifs ajoutait :

« Il en résulte que la plupart du temps, après un procès très long, ou bien le patron est condamné à payer une indemnité qu'il considère comme exagérée, ou bien l'ouvrier perd aussi le secours qu'il aurait obtenu dans d'autres circonstances de la bienveillance et des sentiments d'humanité du patron. »

L'exposé des motifs concluait en ces termes :

« On ne saurait méconnaître, d'après ce qui précède, que le § 2 de la loi du 7 janvier 1871 ne répond qu'imparfaitement au désir de garantir l'ouvrier contre les conséquences économiques résultant des dangers inhérents à sa profession (du risque professionnel), que dans certains cas le patron est chargé par la responsabilité (*Haftpflicht*) d'une manière excessive; que la loi, au lieu d'améliorer les relations entre patrons et ouvriers, a produit l'effet contraire et créé, en définitive, une situation dont la suppression paraît désirable dans l'intérêt des deux classes de la population industrielle. »

C'est le lieu d'observer ici que la nécessité d'une modification se faisait sentir beaucoup moins pour l'exploitation des mines que pour les autres industries. L'organisation existante des caisses ou unions minières (*Knappschaftsvereine*) qui assurait aux ouvriers en moyenne déjà 72 p. 100 (*) des allocations prévues par la loi de 1884, a été cause que les procès entre patrons et ouvriers mineurs ont été peu nombreux et que les relations entre eux n'en ont guère souffert. Aussi l'Union allemande des caisses minières (**), dans des mémoires présentés au chancelier de l'Empire, avait-elle insisté pour que cette organisation existante ne fût pas altérée par la nouvelle loi et que les

(*) Voir le tableau, p. 396.

(**) *Deutscher Knappschaftsverband*; cette union générale de toutes les caisses minières allemandes est une sorte de congrès qui discute les intérêts des caisses.

caisses minières existantes fussent acceptées comme caisses d'assurances contre les accidents. Cela n'a pas été admis et les mines sont citées en tête du § 1 de la loi du 6 juillet 1884 sur l'assurance contre les accidents.

Si l'on examine le mécanisme de cette loi, on reconnaît qu'elle introduit plusieurs principes nouveaux dans la législation sur la matière. Je crois utile d'insister sur ces principes de la loi avant d'entrer dans les détails des dispositions diverses qu'elle renferme :

1° En premier lieu, l'assurance s'étend à tous les cas d'accidents survenus dans l'exploitation quelle qu'en soit la cause. Les allocations prévues par la loi sont acquises aux victimes d'accidents ou à leurs familles, même lorsque l'accident est dû à la victime. Il n'y a d'exception que pour le seul cas où l'ouvrier aurait provoqué intentionnellement l'accident. (Le projet présenté au Reichstag maintenait même dans ce dernier cas les allocations aux familles).

2° La loi prescrit implicitement que la majeure partie des frais résultant des accidents sous forme d'allocations assurées aux victimes ou à leurs familles, sera supportée par les exploitants.

Je crois devoir reproduire ici quelques courts extraits de l'exposé des motifs de la loi pour expliquer sur quoi l'on a pu se baser pour faire supporter aux industriels les frais d'accidents dans tous les cas.

« Pour ce qui concerne les frais de l'assurance contre les accidents, il faut partir de ce point de vue que la garantie des ouvriers contre les conséquences économiques des accidents ne se présente pas comme une obligation de droit privé pour les exploitants qui seraient tenus de payer des indemnités, mais bien comme une obligation de droit public à laquelle ils ont le devoir de se soumettre.

« L'État et la Société ont un intérêt à assurer à l'ou-

vrier et à sa famille des secours dans tous les cas où l'incapacité de travail de la victime ou sa mort ont été la conséquence du risque professionnel, au delà de l'obligation à indemnité résultant pour l'exploitant du droit privé. »

« Si l'on part de ce point de vue du droit public, le développement historique de la question des secours en cas d'accident indique l'exploitant comme celui à qui doivent incomber en première ligne les frais de ces secours. Les exploitants ont reconnu eux-mêmes cette obligation en assurant volontairement aux ouvriers des secours qui dépassent sensiblement ce que leur impose la loi de responsabilité de 1871. »

« Cette manière de voir a été appuyée aussi par cette considération que les frais résultant des secours ne sont pas supportés directement par l'exploitant, mais que l'acheteur les lui rembourse dans le prix de vente de ses produits. De même que l'exploitant supporte les dommages et pertes qui surviennent au capital de premier établissement ou d'exploitation, de même il doit supporter les pertes de force de travail individuelle résultant des dangers inhérents à son industrie, en se couvrant des unes et des autres par l'ensemble des produits de son entreprise. »

Si ces considérations de l'exposé des motifs paraissent dire nettement que c'est aux industriels qu'incomberont tous les frais de l'assurance de leurs ouvriers contre les accidents, à laquelle les obligent les §§ 9 et 10 de la loi, en les réunissant en associations de professions ou d'industries, qui formeront des sociétés d'assurance mutuelle, nous voyons au contraire, par le texte du § 5, qu'une partie de ces frais, c'est-à-dire les frais de traitement et de médicaments, pendant les treize premières semaines, incombent aux caisses de malades, instituées par la loi du 15 juin 1883 sur l'assurance contre les maladies, de même

que le salaire de maladie prescrit par cette loi pour ces treize semaines. Pour les mines spécialement ces frais incombent donc aux caisses minières, qui de fait les avaient supportés jusque-là comme les autres frais.

Si le § 10 de la loi qui nous occupe prescrit aux exploitants de *répartir entre eux* les frais des indemnités et les frais d'administration des associations proportionnellement aux montants totaux des salaires de leurs ouvriers, elle ne dit nettement nulle part que ces frais *doivent* être *supportés par eux*. Elle suppose *implicitement* une obligation morale, ainsi que cela résulte de ce que nous trouvons dans l'exposé des motifs :

« Si l'on peut admettre comme certain que les exploitants qui reconnaissent en général comme équitable la part que veut leur imposer le projet de loi dans les frais de l'assurance contre les accidents, *ne chercheront pas à s'en dégager par une réduction des salaires de leurs ouvriers*, il n'en serait peut-être pas de même, si l'on voulait établir différemment le partage des frais, et ce au détriment des patrons. »

Cette dernière remarque de l'exposé des motifs nous paraît fort contestable. En effet, il résulte de la statistique et des calculs faits que, pour les caisses minières, au moins, la part incombant à ces caisses dans les frais d'accidents (pour les treize premières semaines), serait de 19 p. 100, et celle des exploitants de 81 p. 100. Comme ces derniers paient presque tous la moitié des dépenses des caisses, il leur revient encore la moitié des 19 p. 100 ou 9,5 p. 100, et ils supporteront à l'avenir 90,5 p. 100 des frais résultant des accidents; il n'y a pas si loin de là à 100 p. 100 pour que cette différence dût changer la manière de faire des exploitants. Quoi qu'il en soit, et c'est là le point important, ils supporteront à l'avenir 90 p. 100 à peu près des frais résultant de *tous* les accidents.

3° Le mode de fixation des indemnités et la nature des instances de recours contre cette fixation méritent également une attention toute spéciale. Les indemnités sont fixées en première ligne par les *comités d'administration mêmes des associations professionnelles, par les sous-comités de sections ou par des délégués*, c'est-à-dire, en définitive, *par les exploitants eux-mêmes* (§ 57).

Les intéressés peuvent appeler de cette fixation ou de la décision refusant l'indemnité auprès des *tribunaux arbitraux* (§ 62) établis dans chaque section ou partie de section (§ 46), et composés d'un *président* (fonctionnaire public) nommé par le gouvernement, de *deux délégués de l'association*, de *deux délégués des représentants des ouvriers*.

Ces *tribunaux arbitraux* décident en *dernière instance*:

- a. Sur le remboursement des frais de traitement.
- b. Sur les secours à accorder pour une incapacité de travail qu'on peut présumer devoir être temporaire.
- c. Sur le remboursement des frais d'enterrement.

Leurs décisions relatives à la fixation de toutes les autres allocations peuvent au contraire être attaquées en dernière instance devant l'*office impérial d'assurances*, la voie judiciaire étant exclue (ou devant l'office spécial d'assurance qui peut être institué dans chaque pays fédéré).

L'*office impérial* comprend au moins trois membres stables (dont le président) nommés à vie par l'empereur, et huit membres temporaires nommés pour quatre ans, dont *quatre délégués du conseil fédéral, deux délégués des associations professionnelles et deux délégués des représentants des ouvriers*.

En outre, pour trancher les litiges sur les indemnités, l'office s'adjoint deux employés judiciaires (*richterliche Beamte*).

« L'intervention des *délégués des exploitants et des*

ouvriers dans ce tribunal de dernière instance est une innovation tout à fait sans précédent dans les institutions sociales (*). »

4° La loi donne compétence aux comités d'administration des associations ou aux comités de section pour prescrire, *avec le concours des délégués des représentants des ouvriers*, lesquels ont voix délibérative, dans des sections déterminées ou des branches d'industrie spéciales, sous réserve de l'approbation de l'office impérial :

1° *Des mesures préventives contre les accidents à observer par les exploitants ;*

2° *Des mesures préventives contre les accidents à observer par les ouvriers.*

Si les exploitants ne se conforment pas aux mesures prescrites, l'association peut augmenter leurs contributions, sauf leur recours à l'office impérial.

Si les ouvriers ne se conforment pas aux mesures prescrites, ils peuvent être condamnés à des amendes montant jusqu'à 7^l,25 par le comité d'administration de la caisse des malades (pour les mines, la caisse minière, § 80).

La loi donne aussi compétence aux associations pour faire surveiller l'application de ces mesures par des délégués, lesquels peuvent également se rendre compte de l'organisation des exploitations au point de vue des dangers, et examiner les listes d'ouvriers et de salaires, moyennant certaines restrictions pour assurer, le cas échéant, les secrets de fabrication.

L'ensemble de ces mesures qui, loin d'exclure l'action légale des autorités, la complète en provoquant l'action directe des exploitants et des ouvriers intéressés pour la prescription de toutes les mesures destinées à prévenir

(*) Bödiker, *Législation sur les accidents*.

les accidents, est certainement une innovation heureuse. Elle évite les inconvénients qu'ont fréquemment les prescriptions administratives, c'est-à-dire une trop grande généralisation et une trop grande raideur, et permet d'obtenir, par l'action commune des exploitants, les mesures les plus appropriées à chaque district (*).

La surveillance que les comités d'administration sont autorisés à exercer sur les exploitations par des délégués est certainement de nature à diminuer les accidents mieux que ne pourrait le faire notamment la surveillance des délégués mineurs projetés chez nous, lesquels, tout en ayant la pratique du travail de la mine, n'auront pas les connaissances suffisantes pour apprécier les mesures prises dans l'exploitation.

5° La loi limite d'une façon absolue la responsabilité civile des exploitants et de leurs employés aux cas où un *jugement correctionnel a établi que les uns ou les autres ont volontairement produit l'accident* (§ 95), et dans ces cas ils ne peuvent être tenus à payer que la différence entre ce que les lois générales accorderaient aux ayants droit et ce qui leur revient déjà d'après les prescriptions de la loi actuelle par suite de l'assurance. C'est aussi seulement dans le cas d'un pareil jugement, ou si le jugement reconnaît que l'accident doit être attribué à la négligence de l'exploitant ou de l'employé, qu'ils peuvent être tenus de rembourser les frais de traitement ou d'indemnités, etc., déboursés par les caisses de maladie

(*) En ce qui concerne plus spécialement l'exploitation des mines, il convient d'observer que, loin d'annihiler l'intervention légale des autorités chargées spécialement de leur surveillance, l'intervention des comités d'administration ne pourra s'exercer que pour confirmer, étendre ou détailler les règlements de police qu'il appartient à ces autorités d'émettre; en aucun cas les comités ne pourraient prescrire des mesures qui pourraient aller à l'encontre de ces règlements.

(caisses minières) ou par les associations pour les treize premières semaines.

En outre, *les exploitants ne sont pas responsables* des faits de leurs employés, et c'est le droit commun qui décide si un employé a un recours contre son patron, lorsque cet employé a été reconnu responsable en cas d'accident occasionné volontairement par lui.

Ces dispositions de la loi sont de nature à couper court à tous les procès de l'ouvrier contre le patron, sauf pour le cas assurément bien rare où celui-ci aurait volontairement produit un accident. C'est là certainement un résultat heureux, mais qui est bien dû au patron en compensation de la charge *considérable* que lui impose la loi. Ce résultat ainsi que la certitude pour l'ouvrier de recevoir, lui ou les siens, dans tous les cas d'accidents dont il n'a pas été la cause volontaire, des secours assurés, et cela dans une mesure très large, ainsi que nous le verrons, doivent faire considérer la loi du 6 juillet comme une réforme législative heureuse pour l'Allemagne. Toutefois, la différence des mœurs et des habitudes peut faire que ce qui y est facilement applicable ne le soit pas également partout ailleurs, et notamment en France.

Je crois qu'il y a lieu encore de faire observer, avant d'aller plus loin, que la loi qui porte le titre de « Loi d'assurances contre les accidents » (*Unfallversicherungsgesetz*) n'est point, à proprement parler, une loi d'assurances dans le sens où on l'entend ordinairement. En effet les sommes qu'exigeront les allocations promises aux victimes d'accidents doivent être annuellement réparties entre les exploitants sans qu'il y ait des primes payées à l'avance ni rien d'analogue. Les pensions elles-mêmes ne sont pas garanties par le dépôt du capital nécessaire pour les assurer, et il est seulement prescrit de constituer un certain fonds de réserve. Rien n'est donc *assuré* dans l'acception ordinaire du sens de ce mot; tout est basé sur la

solidarité des industries de même nature réunies en associations qui supportent les frais des accidents. Cependant une garantie supérieure est établie pour le cas où une association viendrait à se dissoudre parce qu'elle se trouverait dans l'impossibilité de remplir ses obligations; dans ce cas, c'est l'*Empire* qui prend sur lui les obligations de l'association et ses droits éventuels (§ 33). On peut donc dire, dans le sens littéral du mot, que les secours aux victimes des accidents sont *assurés* dans tous les cas (*).

Je tâcherai maintenant de résumer, aussi brièvement que possible, les moyens par lesquels la loi met en pratique les principes indiqués et son application en particulier aux mines.

Personnes assurées. — La loi *prescrit* l'assurance pour les ouvriers et pour les employés recevant moins de 2.500 francs (2.000 marcs) de traitement (§ 1). Elle *autorise* l'assurance par prescription statutaire des associations pour les autres employés et pour les *patrons eux-mêmes* (§ 2). Citons, parmi les industries auxquelles elle s'applique, les mines, les carrières, les ateliers de préparation mécanique, les usines, les salines, etc.

Allocations assurées. — En cas de blessures, la loi prescrit les allocations suivantes (§ 5):

(*) Notons en passant que le premier projet de loi présenté au Reichstag, en 1881, prévoyait une véritable assurance à un établissement d'assurances de l'Empire, celui-ci donnant un certain subside, et les primes d'assurances étant payées par les patrons et les ouvriers ensemble. Le deuxième projet de loi de 1882 supprimait l'établissement d'assurances de l'Empire et proposait des associations avec répartition annuelle des frais, mais les associations comprenant des industries diverses pour un district déterminé. Les contributions étaient fournies par les exploitants, avec un subside de l'Empire.

1° *Frais de traitement*, à partir de la quatorzième semaine après l'accident;

2° Un *secours journalier*, à partir de la quatorzième semaine et pour la durée de l'incapacité de travail, égal à 66,66 p. 100 du gain journalier moyen de la victime pendant la dernière année, en comptant seulement pour un tiers le gain qui dépasse 5 francs (4 marcs) par jour, et en admettant comme minimum le salaire journalier moyen des manœuvres. Si l'incapacité de travail n'est que partielle, le secours est réduit en conséquence.

Nous avons indiqué plus haut que les secours pour les treize premières semaines incombent aux caisses de malades (caisses minières). Toutefois, la loi sur les accidents alloue aux victimes à partir de la cinquième semaine un salaire de maladie égal à 66,66 p. 100 du gain journalier moyen, et comme les caisses de malades (caisses minières) n'ont à payer que 50 p. 100, la différence doit leur être remboursée directement *par les exploitants*.

En cas de mort des victimes d'accident, la loi prescrit (§ 6):

Un *secours d'enterrement* égal à vingt fois le salaire journalier moyen avec minimum de 37^f,50 (30 marcs);

Un *secours à la veuve et aux orphelins*, secours qui est de 20 p. 100 du gain annuel de la victime pour la veuve (jusqu'à un nouveau mariage), de 15 p. 100 pour chaque orphelin de père et de 20 p. 100 pour chaque orphelin de père et de mère jusqu'à la fin de la quinzième année. Toutefois, l'ensemble des secours pour la veuve et les orphelins ne doit pas dépasser 60 p. 100 du gain de la victime. La veuve reçoit, en cas de nouveau mariage, une somme égale à trois fois le montant de sa pension annuelle;

Un *secours aux ascendants* dont la victime était l'unique soutien égal à 20 p. 100 du gain annuel; ce secours ne

peut s'accorder qu'autant que les secours à la veuve et aux orphelins n'atteignent pas le maximum de 60 p. 100 prévu.

Ces secours sont également accordés aux membres de la famille d'un blessé lorsque celui-ci est traité à l'hôpital où il ne reçoit pas de salaire de maladie.

La loi ne supprime pas les obligations existantes de diverses caisses de secours ou de malades (caisses minières) relatives aux cas d'accidents; mais ces caisses acquièrent les droits des victimes aux indemnités prévues par la nouvelle loi jusqu'au montant des secours accordés par elles.

Associations professionnelles constituant les sociétés d'assurances mutuelles. — La loi prescrit la formation de sociétés d'assurances mutuelles contre les accidents entre tous les exploitants d'une même profession dans des districts déterminés (§§ 9 et 34).

Il appartient aux industriels eux-mêmes de s'entendre sur les exploitations qui doivent entrer dans chaque association comme *relevant de la même profession*, sauf approbation du conseil fédéral (§ 12). — A cet effet les industriels sont convoqués sur leur proposition par l'office impérial d'assurances en assemblées générales, dans lesquelles les résolutions sont prises à la majorité des voix. Chaque industriel a une voix par vingt personnes à assurer jusqu'à un total de 200 personnes et une voix par chaque centaine au delà de 200 (§§ 18 et 14).

L'approbation du conseil fédéral peut être refusée :

Si le nombre des exploitations ou celui des ouvriers est trop petit pour assurer la vitalité de l'association projetée ;

Si l'on veut exclure de l'association des exploitations de branches d'industrie trop peu développées pour

qu'elles puissent former elles-mêmes une association dont la vitalité soit assurée ;

Si une minorité s'oppose à la constitution de l'association et propose de former, pour certaines branches d'industrie ou pour certains districts, une association spéciale dont la vitalité serait reconnue.

A défaut d'entente entre les intéressés ou à défaut d'approbation de leurs résolutions, les associations sont formées par le conseil fédéral (à moins qu'il n'accorde un nouveau délai).

Les associations constituées ont les droits de personnes morales (§ 9).

Les associations constituées peuvent être modifiées par la réunion de plusieurs d'entre elles ou par la sortie de certaines branches d'industrie et leur entrée dans d'autres associations, le tout toujours sous l'approbation du conseil fédéral (§§ 31, 32).

Organisation des associations. — Les associations règlent leur organisation intérieure par un statut délibéré en assemblée générale (§ 16), dont les dispositions, pour être valables, doivent être approuvées par l'office impérial d'assurances (§ 20) de même que les modifications ultérieures éventuelles.

Le paragraphe 17 de la loi indique la nature des prescriptions que le statut doit renfermer. Il peut également contenir d'autres prescriptions prévues dans divers paragraphes de la loi.

L'association professionnelle peut par les statuts se diviser en sections de districts et prescrire l'installation d'hommes de confiance comme ses représentants ou délégués locaux (§ 19). Cette organisation est prévue dans le but de faciliter les relations entre le comité de direction et les divers membres de l'association et de hâter l'expédition des affaires qui peuvent être confiées à ces organes.

Comités de direction. — Les comités de direction des associations sont chargés de toute l'administration, sauf les questions réservées par la loi ou les statuts à l'assemblée générale et notamment (§ 22) :

- 1° Le choix des membres du comité;
- 2° L'examen des comptes et la décharge à donner;
- 3° Les modifications à apporter aux statuts.

Le comité représente l'association judiciairement et extrajudiciairement.

Ne peuvent être élus membres du comité ou délégués locaux que les membres de l'association qui ont droit de vote, c'est-à-dire tous ceux qui sont en possession de leurs droits civiques. On ne peut se récuser que par les motifs qui permettent de refuser les fonctions de tuteur; autrement le refus peut entraîner le paiement de contributions plus élevées, que l'assemblée de l'association peut porter jusqu'au double des contributions ordinaires pour le temps en vue duquel est faite l'élection (§ 24).

Les diverses fonctions sont *gratuites* (§ 25). Les dépenses effectives sont remboursées.

Les fonctions exigent de ceux qui en sont chargés les mêmes soins que celles d'un tuteur.

A défaut d'élection des organes d'une association, l'office d'assurances de l'Empire gère ses affaires aux frais de l'association.

Les *comités d'associations sont investis du droit d'infliger des amendes aux associés*, sauf recours de ceux-ci à l'office :

Jusqu'à 625 francs (500 marcs) :

- 1° Si leurs relevés d'ouvriers et de salaires contiennent des inexactitudes de faits ;
- 2° Si l'indication de l'ouverture d'une exploitation est inexacte ou retardée.

Jusqu'à 375 francs (300 marcs), si les associés ne remplissent pas leurs obligations :

1° Quant à l'avis à donner sur les exploitations et leurs modifications ;

2° Quant à la remise des relevés d'ouvriers et de salaires ;

3° Quant aux prescriptions à suivre en cas d'arrêt d'une exploitation ; ou

4° Quant au retard pour l'avis à donner en cas d'accident (§§ 103 à 106).

Tarifs de dangers et classement des exploitations. — L'assemblée générale des associés doit établir, pour les diverses classes d'exploitations industrielles que comprend l'association, un tarif pour le prélèvement des contributions proportionnellement aux risques d'accidents de chaque classe.

Ce tarif doit être soumis à une première revision au bout de deux ans et ensuite à une autre revision tous les cinq ans, en tenant compte des accidents survenus dans les diverses exploitations.

Le premier tarif doit être, ainsi que les modifications ultérieures, soumis à l'approbation de l'office d'assurances de l'Empire qui peut établir le tarif lui-même, les organes de l'association entendus, lorsque ceux-ci l'ont négligé ou lorsque leur tarif n'a pas été approuvé.

Les diverses exploitations sont rangées dans les classes de danger par les organes de l'association, conformément aux prescriptions des statuts, sauf recours à l'office de l'Empire.

L'assemblée générale peut augmenter ou diminuer les contributions des exploitants pour la prochaine période de cinq ans en tenant compte des accidents survenus dans la période précédente.

Partage du risque. Proportion plus forte des indemnités imposées aux sections. — En vue de la [différence

qu'il peut y avoir dans les risques professionnels pour certaines branches d'industrie selon leur mode de production dans tel ou tel district, la loi stipule que les statuts peuvent imposer aux sections la répartition directe entre leurs membres d'une partie des frais résultant des accidents dans cette section. Cette portion est fixée d'une manière générale à *cinquante pour cent au maximum* (§ 29), mais elle peut aller au delà pour *les associations professionnelles des mines* (§ 94).

Les risques peuvent également être partagés entre plusieurs associations totalement ou partiellement, sous l'approbation de l'office d'assurances; cela constitue une espèce de réassurance et le risque peut être réparti ainsi sur un plus grand nombre d'intéressés, tout en ayant des associations plus restreintes.

Nous avons dit plus haut que l'Empire se charge des obligations d'une association qui est dissoute faute de pouvoir y satisfaire. La dissolution d'une association est prononcée par le conseil fédéral sur la proposition de l'office d'assurances de l'Empire (§ 33).

Je n'insisterai pas sur les mesures de détails prévues par la loi dans les paragraphes 34 à 40, et qui sont relatives aux avis à donner à l'autorité sur l'existence des exploitations industrielles, à leur incorporation aux associations, à la tenue par les associations d'un registre (*Kataster*) des exploitations qu'elles comprennent, aux avis sur les changements survenus dans les exploitations qui peuvent les faire classer dans une autre association, à leur incorporation dans une autre association, etc.

Ces mesures paraissent toutes de nature à assurer l'application facile de la loi; mais elles la rendent, ce semble, d'une longueur inutile, ayant pu faire l'objet d'un règlement ou d'une ordonnance.

Répartition des frais d'indemnités et d'administration

entre les associés. — Ainsi que nous l'avons dit plus haut, les frais incombant aux associations soit pour les secours et indemnités, soit pour leur administration, sont partagés annuellement entre les associés, en proportion des montants des traitements et salaires des assurés qu'ils occupent, et sur la base des tarifs de danger établis par les statuts. Les traitements ou salaires dépassant 5 francs (4 marcs) par jour ne sont comptés pour le surplus qu'au tiers (§ 10).

Emploi des fonds. — Les contributions versées par les associés et le fonds de l'association ne peuvent être employés qu'au paiement des indemnités et secours, des frais d'administration, de primes de sauvetage ou d'empêchement d'accidents, et à la constitution d'un fonds de réserve (§ 10).

Fonds de réserve. — La loi prescrit (§ 18) la formation d'un fonds de réserve pour les associations professionnelles. Ce fonds doit être formé par des majorations des contributions pendant les onze premières années. Cette majoration sera :

A la fin de la 1 ^{re} année de	300 p. 100
— 2 ^e — de	200
— 3 ^e — de	150
— 4 ^e — de	100
— 5 ^e — de	80
— 6 ^e — de	60

et ensuite en diminuant de 10 p. 100 par an, et à la fin de la onzième année de 10 p. 100 du montant des indemnités de l'année.

Après les onze années, les intérêts du fonds de réserve lui sont ajoutés jusqu'à ce qu'il ait atteint le *double du montant des dépenses annuelles*. Au delà de ce montant, les intérêts peuvent être employés aux besoins courants.

Avec l'approbation de l'office d'assurances de l'Empire, le fonds de réserve peut être accru au delà de la limite prévue, et l'association peut voter de nouvelles majorations des contributions. De même l'association peut, dans un cas urgent, disposer des intérêts et du capital lui-même avant qu'il n'ait atteint la limite indiquée, toujours sous l'approbation de l'office d'assurance.

L'exposé des motifs de la loi faisait observer que, pour ne pas imposer une trop lourde charge à l'industrie indigène, qui se trouvait seule atteinte à l'exclusion de l'industrie étrangère, il y avait lieu de renoncer pour le moment à faire verser les capitaux nécessaires pour assurer les secours, sauf à y revenir par une loi ultérieure, et à s'en tenir à la répartition annuelle des frais en constituant en même temps un fonds de réserve modéré (*).

Représentants des ouvriers. Leurs fonctions. — La loi prescrit (§ 41) l'élection, par les comités de direction

(*) D'après la statistique établie pour l'Empire en 1881 et en tenant compte des taux prévus par la loi et d'un *salaires moyen uniforme* de 937^{fr},50 (750 marcs) par an, les charges résultant de l'application de la loi pour un nombre d'ouvriers de 1.957.548 (des deux sexes) seraient annuellement :

1° Pour les caisses de malades 3.436.620 fr. (2.749.745 marcs);
2° Pour les associations 17.250.000 fr. (13.800.000 marcs). Cette dernière somme comprenant le versement du capital nécessaire pour assurer les pensions.

Au contraire, d'après le mode adopté par la loi (répartition annuelle des frais), les versements annuels des associations pour 1.615.253 ouvriers mâles pour lesquels le capital annuel serait de 16.887.200 fr. (13.510.000 marcs) pour assurer les pensions, seront de :

	francs	marcs
Fin de la 1 ^{re} année.	865.400	(690.000)
— 2 ^e —	1.125.000	(1.700.000)
— 10 ^e —	11.250.000	(9.000.000)
— 17 ^e —	17.000.000	(13.600.000)
À partir de la 75 ^e —	28.625.000	(22.900.008)

des caisses de malades ou des caisses minières, de représentants des ouvriers. Ces représentants, élus pour la circonscription d'une association professionnelle ou pour des sections d'association, doivent être des personnes employées dans la circonscription et assurées d'après les prescriptions de la loi. *Dans le cas des associations minières, celles-ci peuvent prescrire par leurs statuts que les anciens des caisses minières (*) rempliront les fonctions de représentants* (§ 94).

Le nombre des représentants des ouvriers doit être égal à celui des exploitants membres du comité de direction de l'association ou des comités de section.

L'élection, à laquelle participent seulement les comités des caisses de malades comprenant au moins dix personnes occupées dans les exploitations de l'association, a lieu d'après un règlement à établir par l'autorité centrale du pays ou par l'office d'assurances de l'Empire, si l'association s'étend sur plusieurs pays fédérés. Elle est faite pour quatre ans.

Les fonctions de ces représentants des ouvriers sont les suivantes :

1° Élection d'assesseurs aux tribunaux arbitraux institués par le § 46 ;

2° Avis à donner sur la prescription de mesures préventives d'accidents ;

3° Choix de deux membres non permanents de l'office d'assurances de l'Empire. Lors de la discussion du projet de loi, on avait commencé dans la commission par faire entrer *les représentants des ouvriers sur le pied d'égalité* dans les comités de direction des associations profession-

(*) Nous rappelons que les *anciens* des caisses minières sont les représentants élus par les ouvriers affiliés aux dites caisses pour en surveiller la gestion concurremment avec le comité de direction.

nelles ou dans les comités de section avec *les exploitants eux-mêmes*; cette extension de leurs fonctions a dû être abandonnée, parce que de fait les ouvriers ne sont point associés aux exploitants dans les sociétés d'assurances mutuelles constituées par les associations professionnelles.

En dehors des représentants dont les fonctions ont été indiquées ci-dessus, la loi prescrit la nomination tous les deux ans, par les comités des caisses de malades ou des caisses minières, d'un fondé de pouvoirs par district de police, pour assister aux enquêtes à faire par la police (ou l'administration des mines) sur les accidents (§ 45).

Avis des accidents et enquêtes. — Tout accident ayant occasionné la mort ou une incapacité de travail de plus de trois jours dans une exploitation, doit être porté par l'exploitant à la connaissance de l'autorité locale de police, par écrit et dans les quarante-huit heures (§ 51).

Tout accident ainsi annoncé doit faire aussitôt que possible l'objet d'une enquête de police, lorsque l'accident a occasionné la mort d'une personne assurée, ou lorsque la mort ou une incapacité de travail de plus de treize semaines est à prévoir.

L'enquête, à laquelle peuvent participer des représentants de l'association, le fondé de pouvoirs choisi par la caisse de malades à laquelle appartenait l'assuré (§ 45), ainsi que l'exploitant et les autres intéressés (notamment la victime ou son représentant), porte sur les points suivants :

- 1° La cause et la nature de l'accident ;
- 2° Les victimes (morts ou blessés) ;
- 3° La nature des blessures ;
- 4° La situation actuelle des victimes ;
- 5° L'état des familles des victimes tuées qui peuvent avoir un droit à indemnité d'après le § 6.

L'autorité de police (ou l'administration des mines, s'il y a lieu) avise en temps utile de la date de l'enquête le comité de l'association ou, le cas échéant, le comité de section ou son délégué local, ainsi que le fondé de pouvoirs de la caisse de malades (caisse minière), l'exploitant et les autres intéressés (§§ 53, 54) (*).

Les intéressés peuvent prendre connaissance du procès-verbal d'enquête et en obtenir copie.

Fixation des indemnités. Comités des associations. Tribunaux arbitraux. Office d'assurances de l'Empire. — Le mode de fixation des indemnités a été indiqué plus haut. La fixation par les organes de l'association n'a lieu qu'après communication des bases de la fixation aux intéressés qui peuvent donner leur avis dans le délai d'une semaine. Cette prescription a pour but d'éviter, si possible, par des négociations amiables, le recours aux tribunaux arbitraux (§ 57).

La fixation doit avoir lieu dans le plus bref délai possible.

Les ayants droit à indemnité pour lesquels les indemnités n'auraient pas été fixées d'office, peuvent faire valoir leurs droits pendant un délai de deux ans devant le comité d'association compétent. Si l'accident a eu lieu dans une exploitation non encore entrée dans une association, l'autorité administrative inférieure reçoit les demandes en indemnités, et elle doit en ce cas provoquer l'incorporation de l'exploitation, à moins que celle-ci ne tombe pas sous le § 1^{er} ; dans ce dernier cas, les demandes

(*) L'enquête est toujours faite et exclusivement faite par le représentant de l'administration (notamment de l'administration des mines); les autres délégués ne font qu'y assister; on évite ainsi la confusion d'attributions à laquelle entraînerait, par exemple, l'instruction spéciale des accidents qu'on voudrait confier en France aux délégués mineurs.

sont à repousser (§ 59), sauf recours des intéressés à l'office d'assurances de l'Empire (§ 62).

Les associés sont tenus de produire aux autorités et aux organes de l'association, sur leur requête, les listes de salaires, etc.

Les organes de l'association qui ont fixé une indemnité doivent en indiquer aux ayants droit le montant par écrit avec les bases du calcul (§ 61); ainsi que le mentionne l'exposé des motifs, cette notification permet aux ayants droit de toucher l'indemnité fixée, nonobstant leur recours au tribunal arbitral.

Nous avons vu que la fixation des indemnités par les organes de l'association peut être attaquée devant les tribunaux arbitraux dont nous avons indiqué la composition. Les fonctions d'assesseur ne peuvent être refusées que dans les conditions pour lesquelles un tuteur peut se récuser.

Les membres des tribunaux arbitraux seront assermentés (§ 49).

Le président convoque le tribunal arbitral, lequel peut faire une descente sur les lieux de l'accident et entendre, même sous serment, des témoins et des experts. « Cette dernière prescription est surtout indispensable pour les cas où il est douteux si une blessure est ou non la conséquence d'un accident », comme l'observe l'exposé des motifs.

Le tribunal ne peut siéger que si, en dehors du président, il y a le même nombre d'assesseurs-associés et d'assesseurs-ouvriers, et au moins un de chaque catégorie (*). Il rend ses arrêts à la majorité des voix. La pro-

(*) Cette composition du tribunal arbitral est à remarquer si on la rapproche de celle de nos tribunaux de prud'hommes. Chez nous les deux parties sont toujours en nombre égal et seules en présence, si tant est même qu'il y en ait une qui

cedure, dont les frais incombent à l'association, sera réglée par ordonnance impériale (§ 50).

Il a été dit plus haut quelles sont les décisions du tribunal arbitral qui sont définitives, et quelles sont celles susceptibles d'un recours à l'office d'assurances. Ce recours n'en arrête pas l'exécution.

S'il se produit un changement important dans les circonstances qui ont motivé la fixation de l'indemnité, par exemple, si le blessé redevient capable de travailler ou s'il meurt, il peut être procédé à une nouvelle fixation.

Les frais de traitement et d'enterrement doivent être payés huit jours après leur fixation. Les secours aux blessés et aux familles sont payés mensuellement au commencement du mois.

L'association peut indemniser par un capital les étrangers qui quittent définitivement l'Empire.

Les créances résultant pour les ayants droit des prescriptions de cette loi ne peuvent être saisies ni cédées à des tiers.

Paiement des indemnités par la poste. — Le paiement des indemnités fixées d'après la loi a lieu par l'administration des postes, et, en général, par le bureau de poste de la localité qu'habite l'ayant droit (§ 69).

L'administration des postes ouvrira un compte d'avances à chaque association (Exposé des motifs) dont le relevé sera adressé à celle-ci dans un délai de deux mois après la fin de l'année comptable (§ 70), et devra être réglé par elle dans un délai de trois mois (§ 75) (*). En cas de non

siège d'après la nouvelle loi du 10 décembre 1884, tandis qu'en Allemagne on a eu soin d'assurer le départage des voix en attribuant la présidence à un fonctionnaire public, étranger aux deux parties.

(*) Ces avances sans intérêts constituent par l'absence des intérêts une subvention de l'État.

payment, l'office d'assurances peut procéder à l'exécution par voie administrative.

Pour ce qui concerne spécialement les mines, les associations minières peuvent décider par leurs statuts que le paiement des indemnités sera effectué par les caisses minières (§ 94).

Répartition des frais entre les associés. — La répartition annuelle des frais occasionnés par les indemnités et par l'administration de l'association a lieu par le comité sur la base des renseignements fournis par les associés (§§ 71, 72).

Les associés peuvent contester le bien-fondé de la fixation de leur versement auprès du comité, et ils ont un recours contre ces décisions auprès de l'office d'assurances, qui toutefois ne peut y donner suite qu'en cas de faute de calcul ou de fausse application du tarif de dangers (§ 73).

Les contributions irrécouvrables retombent à la charge de l'association et sont à répartir l'année suivante (74).

Comptabilité des associations. — Les recettes et dépenses des associations relatives à l'assurance doivent faire l'objet d'une comptabilité spéciale. Les fonds des associations doivent également être gardés séparément. Les fonds disponibles doivent être déposés dans des caisses d'épargne publiques ou avec les sécurités prescrites pour les fonds de pupilles (§ 76).

Tous les ans l'office d'assurances de l'Empire doit présenter au *Reichstag* un relevé des comptes des diverses associations professionnelles (§ 77).

Mesures préventives d'accidents. Surveillance des exploitations par l'association. — J'ai expliqué que les associations pouvaient prescrire des mesures préventives

contre les accidents pour les exploitations qui y participent, avec le concours des représentants des ouvriers. Les procès-verbaux des conférences y relatives indiquant les votes émis doivent être communiqués à l'office d'assurances.

La loi stipule également que les arrêtés que prendraient les autorités pour prévenir les accidents dans certaines branches d'industries ou d'exploitations, seront communiqués pour avis aux comités d'association assistés des délégués des ouvriers, s'il n'y a pas péril en la demeure.

J'ai aussi indiqué la surveillance que les associations peuvent exercer sur les exploitations par des délégués. Ceux-ci peuvent demander l'intervention de l'autorité administrative inférieure pour infliger des amendes jusqu'à 375 francs (300 marcs) aux industriels qui ne leur permettraient pas l'entrée dans leurs ateliers ou exploitations, ou qui ne leur communiqueraient pas les livres dont ils sont autorisés à prendre connaissance (§ 82).

Les membres des comités et les délégués chargés de la surveillance, sont ainsi que les experts, tenus à la discrétion sur les faits qu'ils constatent dans les exploitations; il leur est défendu d'imiter des secrets professionnels; ils sont assermentés à cet effet (§ 84). Ceux qui auraient trahi des secrets professionnels venus à leur connaissance dans l'exercice de leurs fonctions seront, sur la demande seulement des exploitants intéressés, condamnés à une amende jusqu'à 1.875 francs (1.500 marcs) et à la prison jusqu'à trois mois (§ 107).

Dans le cas où ils auraient intentionnellement trahi de pareils secrets pour nuire à l'exploitant, ou dans le cas où ils auraient imité des procédés tenus secrets, les membres des comités, délégués ou experts, seront punis de la prison.

S'ils agissent ainsi pour se procurer à eux-mêmes ou

à d'autres des avantages pécuniaires, ils peuvent être, en outre, punis d'amendes jusqu'à 3.750 francs (3.000 marcs) (§ 108).

L'exploitant qui craint des indiscretions de la part du délégué de l'association peut demander l'inspection de son exploitation par un autre expert, à ses frais. Il propose, à cet effet, au comité plusieurs personnes; à défaut d'entente, l'office d'assurances décide (§ 83).

Les délégués sont tenus de donner aux autorités chargées de la surveillance (inspecteurs de fabriques, employés de l'administration des mines) à leur requête des renseignements sur les résultats de leur surveillance sous peine d'amendes jusqu'à 125 francs à infliger par l'office d'assurances (§ 85).

Les frais de la surveillance incombent aux associations. Toutefois le comité peut réclamer aux exploitants les frais qu'ils auraient occasionnés en manquant à leurs obligations (§ 86).

Office d'assurances de l'Empire. Compétence. — L'office d'assurances de l'Empire dont la constitution a été indiquée (page 366), est chargé de surveiller l'exécution de la loi. Son siège est à Berlin.

Les membres temporaires sont nommés pour quatre ans, ainsi que deux remplaçants pour chacun d'eux.

Les employés de l'office sont nommés par le chancelier de l'Empire.

L'office surveille l'observation de toutes les prescriptions de la loi et des statuts. Il peut exiger, sous peine d'amendes jusqu'à 1.250 francs (1.000 marcs), la communication par les associations de tous leurs livres et correspondances (§ 88).

Ses décisions ne sont susceptibles d'appel que dans les cas spéciaux prévus par la loi.

Il décide, sauf les droits des tiers, sur les droits et

obligations des organes des associations, sur l'interprétation des statuts et sur la validité des élections. Il peut infliger des amendes jusqu'à 1.250 francs (1.000 marcs) aux organes des associations en cas d'observation des prescriptions légales et statutaires.

La procédure de l'office d'assurances sera réglée par ordonnance impériale.

Dans plusieurs cas, indiqués au § 90, ses décisions ne sont valables que lorsque cinq membres, dont le président et un délégué au moins des comités d'associations et des ouvriers, sont présents, et notamment lorsqu'il s'agit de recours contre les décisions des tribunaux arbitraux et de l'approbation de mesures préventives contre les accidents (§ 90).

Les frais d'entretien de l'office d'assurances sont supportés par l'Empire.

Offices d'assurances spéciaux des pays fédérés. — Les divers États peuvent établir à leurs frais des offices d'assurances spéciaux pour les charger de la surveillance des associations comprises dans les limites de ces États (§ 92). Ces offices se composeront d'au moins trois membres stables nommés à vie par le souverain du pays, et de quatre membres temporaires délégués des associations et des ouvriers, comme dans le cas de l'office de l'Empire.

Responsabilité des exploitants et de leurs employés. — Nous avons vu (pages 368, 369) comment la responsabilité des exploitants et de leurs employés est strictement limitée par la loi (§ 95). Lorsqu'un jugement correctionnel attribue l'accident à une faute volontaire ou à la négligence professionnelle d'un exploitant ou d'un de ses employés, les ayants droit peuvent exiger, au lieu d'une pension de secours, le capital correspondant (§ 96). Les sociétés par actions et autres répondent comme « exploi-

tants » du fait des membres de leurs administrations ou de leurs liquidateurs.

Dans le cas où l'auteur de l'accident serait mort ou absent, ou lorsque par tout autre motif relatif à sa personne le jugement correctionnel n'aurait pu être rendu, les intéressés peuvent néanmoins faire valoir leurs prétentions (§ 97).

Responsabilité de tiers. — La responsabilité des tierces personnes qui auraient occasionné l'accident se juge d'après les lois existantes. Les associations, en tant qu'elles sont obligées à indemnité envers les ayants droit prennent la place de ceux-ci vis-à-vis des tiers.

Dispositions diverses. — Il reste à mentionner diverses dispositions de la loi.

Il est interdit aux associations et aux exploitants de limiter ou de restreindre par contrat ou règlement l'application des mesures prescrites par la loi, au détriment des assurés. De pareilles restrictions seraient nulles de plein droit (§ 99).

Cette prescription a pour but d'empêcher que les charges créées par la loi ne tombent sur les assurés; elle ne paraît pas très utile, car si l'exploitant voulait obtenir ce résultat il n'aurait qu'à diminuer les salaires, ce que la loi ne peut pas empêcher.

Les droits et obligations résultant pour les exploitants de contrats antérieurs avec des sociétés d'assurances seront transférés sur leur demande aux associations dont ils feront partie (§ 100).

Les autorités publiques sont tenues de déférer aux demandes que leur feraient l'office d'assurances de l'Empire, les comités des associations et les tribunaux arbitraux pour l'exécution de la loi (§ 101).

Toutes les procédures et tous les actes des tribunaux

d'arbitrage ainsi que tous les actes extrajudiciaires relatifs aux contestations entre les associations et les assurés sont affranchis de tous droits et timbres (§ 102).

Avant de passer à l'application de la loi aux mines, j'indiquerai ici, à titre de renseignement, les chiffres qu'a donnés le relevé des avis des exploitants relativement aux nombres d'exploitations industrielles et aux nombres d'ouvriers à assurer d'après la loi dans tout l'Empire et en Prusse spécialement.

	NOMBRE D'EXPLOITATIONS		NOMBRE D'OUVRIERS	
	de mines, usines, salines, tourbières.	de toutes industries.	de mines, usines, salines, tourbières.	de toutes industries.
Prusse	2.464	85.054	432.713	1.693.856
Empire	3.230	156.529	506.340	2.776.891

L'office d'assurances de l'Empire, admettant que certains chiffres sont trop bas, estime à 3.110.000 le nombre des personnes qui seraient appelées à jouir du bénéfice de la loi.

Ajoutons que, parmi les exploitations minières, 1.460 avec 315.713 ouvriers en Prusse et 1.729 avec 353.475 dans tout l'Empire, font partie d'unions minières (pour les caisses de secours et de pensions de mineurs).

TROISIÈME PARTIE.

1^o Application de la loi du 15 juin 1883 aux mines.

Ainsi que nous l'avons vu précédemment, la principale parmi les prescriptions de la loi sur l'assurance contre les maladies qui s'applique aux caisses minières est celle relative aux allocations à accorder.

Pour ce qui concerne le traitement et les médicaments, le minimum légal est atteint dans toutes les caisses existantes. Il n'en est pas de même pour le salaire de maladie lequel, d'après la loi de 1883, doit être de 50 p. 100 du salaire journalier moyen de la classe à laquelle appartient le participant malade.

Augmentation des salaires de maladie. — Actuellement la situation est telle que :

					p. 100
37	<i>Vereine</i> avec	72.299	membres	donnent	moins de . . . 30
36	— avec	107.754	—	—	de . . . 30 à 40
27	— avec	94.618	—	—	de . . . 40 à 50
et 8	— avec	11.023	—	—	de . . . 50

La moyenne générale de tous les *Vereine* est de 30 p. 100 (tableau n° 3); et la somme des salaires de maladie payés en 1883 étant de 2.000.000 de francs, cette somme serait accrue, d'après la nouvelle loi, de 1.333.333 francs, soit, pour 308.283 membres, de 4^f,30 par membre, et par suite, patrons et ouvriers auraient à verser en moyenne 2^f,15 de plus par ouvrier.

Comme exemple spécial, nous citerons le *Verein* de Saarbrück. Pour celui-ci, le salaire de maladie, d'après les anciens statuts, n'est que de 25 p. 100 du salaire ordinaire; il est vrai qu'il est touché dès le premier jour de la maladie, et les dimanches et fêtes comme les autres jours. En tenant compte de ces circonstances, on a calculé que l'augmentation de dépenses pour chacune des années 1877 à 1881 serait d'environ 150.000 francs, soit, par membre actif et par an, de 6^f,45, tandis que le total de la dépense pour 1881 a été de 183.785 francs, soit, par membre actif, de 7^f,98.

L'augmentation de dépense obligerait donc à une augmentation des contributions de 3^f,20, tant pour les exploitants que pour les ouvriers.

Quant au salaire moyen de maladie, qui a été à Saarbrück de 0^f,97 en 1883, il monterait à l'avenir à 1^f,94, et pour cette année l'augmentation de dépenses serait encore plus considérable que celle indiquée.

L'augmentation des secours d'enterrement sera limitée à un nombre restreint de caisses minières. En général, les caisses minières n'admettaient pas les femmes comme participants: la loi sur les maladies oblige à les admettre aux caisses de maladie; il n'y a pas lieu de s'y arrêter ici.

Une modification qui résultera probablement pour les caisses minières de l'application de la loi sur l'assurance contre les maladies, c'est la séparation des caisses en caisses de maladie et caisses de pensions. Cette séparation, déjà obligatoire dans l'ancien duché de Nassau, s'imposera sans doute sous peu partout, et il est probable que, suivant la tendance manifestée, les caisses de maladie seront restreintes à de petits districts ou même aux diverses exploitations tant soit peu importantes. L'administration du *Verein* de Saarbrück en particulier avait déjà préparé des modifications aux statuts en vue de cette division, mais les *anciens* ne les ont pas acceptées pour le moment et préfèrent attendre l'époque du 1^{er} janvier 1887 où les prescriptions de la loi sur les maladies deviennent seulement obligatoires pour les caisses minières. Au contraire, les caisses de pensions paraissent devoir suivre le mouvement inverse, et, si elles ne viennent pas, par suite de la législation projetée sur les pensions, à être réunies pour tout l'Empire, il est à présumer qu'elles entreront au moins dans des rapports de mutualité par réassurance ou autrement, et qu'ainsi sera réalisée une grande association dont la solidité ne pourrait être mise en danger que par des catastrophes atteignant une grande partie de l'Empire et qu'elles pourront fonctionner sûrement sans qu'il soit besoin de constituer

des fonds de réserve qui exigeraient des contributions ruineuses pour l'industrie.

Observons d'ailleurs que cette division des caisses a rencontré des objections sérieuses parmi les exploitants. Nous trouvons ce qui suit dans une pétition adressée au ministre par M. Stumm, grand exploitant de mines et d'usines et membre du Reichstag, contre cette division :

« La tendance de toutes les lois spéciales créées maintenant est de substituer des prescriptions très précises, très limitées, sur les allocations à la plus grande liberté actuelle laissée pour ces allocations, et cela est nécessaire, en effet, si on sépare nettement les caisses de maladie, d'accidents et de pensions. Mais l'essence des *Knappschaftsvereine* consiste précisément dans la réunion des secours de maladie et d'invalides avec d'autres bénéfices, accordés d'ailleurs *suivant les besoins* en quantité variable. Les lois sur l'assurance contre la maladie et contre les accidents ne prévoient pas de mesures extraordinaires ; il en sera probablement de même de la loi sur les pensions. Si nous séparons nos caisses minières nettement en plusieurs parties, les *Knappschaftsvereine* perdent l'importance qu'ils ont précisément, au point de vue social, par leur organisation. »

Ces observations paraissent justes, mais la législation n'en a tenu compte qu'en prescrivant pour les mines, pour le moment seulement, la séparation des accidents.

Ce qu'il faut retenir, c'est qu'en principe les exploitants allemands considéraient en général les *Knappschaftsvereine*, non comme des associations d'assurances contre les maladies et les accidents et pour les pensions, mais comme des associations de secours, ce mot ne devant pas d'ailleurs être compris comme secours d'indigence. Cela implique aussi que l'on ne pensait pas qu'elles créassent des droits fixes quant à leur quotité aux membres sur les allocations prévues, mais des droits éventuels

seulement, les allocations pouvant être diminuées si l'état de la caisse l'exigeait.

2^o Application de la loi du 6 juillet 1883 aux mines.

Le § 94 de la loi prescrit que les entrepreneurs d'exploitations industrielles faisant partie d'unions minières pourront, sur la proposition de leurs comités d'administration, être réunies par le conseil fédéral en « associations professionnelles minières ».

Lors des réunions des délégués de toutes les unions minières des caisses de secours et de pensions, à Berlin, on avait en général manifesté le désir de ne former qu'une seule grande association professionnelle minière pour tout l'Empire ; une très grande majorité, c'est-à-dire 69 unions minières comprenant 242.560 ouvriers avaient voté dans ce sens. Toutefois les exploitants de la Saxe et ceux de la Silésie supérieure ne s'étaient pas joints à ce vote, les premiers parce qu'en Saxe certaines exploitations ne font pas partie d'unions minières (*Knappschaftsvereine*), les caisses minières de secours et de pensions n'étant pas prescrites par la loi, et parce que ces exploitations se trouveraient ainsi exclues de l'association générale, les seconds par ce qu'en Silésie certaines mines de fer, qui ne tombent pas sous l'application de la loi des mines de 1865, ne font pas non plus partie des *Knappschaftsvereine*.

Le conseil fédéral a décidé néanmoins que les exploitations minières de la Saxe et de la Silésie devaient rentrer dans l'association générale.

Cette association, constituée sous le nom de : associa-

tion professionnelle des corporations minières (*) et dont les statuts sont trop développés pour pouvoir entrer dans le détail de son organisation, comprend donc toutes les exploitations minières de l'Empire, ce qui lui donnera naturellement une très grande solidité, même pour le cas où l'industrie des mines viendrait à périlcliter dans certains districts.

(On a exclu de l'association les *usines* à fer qui en forment une spéciale).

L'association est divisée en huit sections dont six pour la Prusse et les petits États, une pour la Saxe et une pour la Bavière, le Wurtemberg et Bade.

Les affaires de l'association sont gérées :

1° Par l'*assemblée générale* composée de délégués des sections à raison de 1 par 5.000 personnes assurées. Chaque branche d'industrie occupant 5.000 assurés doit être représenté par un délégué au moins ;

2° Par le *comité de l'association* composé de seize membres élus par l'assemblée générale dans son sein ou parmi les *anciens* des caisses minières. Chaque section doit être représentée au comité par un membre au moins ;

3° Par l'*assemblée de section* composée de tous les membres de la section, c'est-à-dire de tous les exploitants ou de leurs fondés de pouvoir ;

4° Par les *comités de section* composés de trois membres au moins nommés par l'assemblée de section dans son milieu ou parmi les *anciens* ;

5° Par les *hommes de confiance* nommés par les comités de section et qui sont les organes locaux de l'association.

L'assemblée de section nomme les *assesseurs aux tribunaux arbitraux*

(*) *Knappschafts-Berufsgenossenschaft.*

Les *représentants des ouvriers* sont élus parmi les anciens des caisses minières.

Les frais résultant chaque année de l'application de la loi sont supportés par chaque section pour son rayon en tant qu'ils ne dépassent pas de 10 p. 100 la *dépense annuelle normale de la section* exprimée en pour cent du total des salaires de cette section. La *dépense annuelle normale* est fixée pour chaque section par l'assemblée générale de l'association. Si les frais dépassent le taux indiqué, l'*excédant* incombe *en entier à l'association en général.*

Les mesures préventives d'accidents sont prescrites par l'assemblée générale.

Le classement des exploitations dans les tarifs de danger d'où résulte la quotité de leurs versements, a lieu par le comité de l'association sur la proposition des comités de section.

Les indemnités dues aux victimes d'accidents sont fixées par les comités de section.

Le comité de section nomme aussi les délégués qui surveillent les exploitations.

La loi doit être mise en vigueur au mois d'octobre 1885. Il sera très intéressant de connaître les tarifs de danger établis et le classement des exploitations dans ces tarifs.

L'office d'assurances de l'Empire devant tenir une statistique détaillée des accidents et des comptes des associations, il sera également intéressant de suivre plus tard les résultats produits par l'application de la loi.

Si l'on examine maintenant quelles seront les conséquences de la loi au point de vue des charges des caisses minières d'une part et des exploitants d'autre part, on reconnaît que les premières seront en très grande partie dégagées des charges résultant des accidents (pour les accidents à venir bien entendu seulement), tandis que la charge des exploitants ne laisse pas d'être

sérieuse. Nous donnons ci-dessous, pour la Prusse, une comparaison des montants des dépenses occasionnées par les accidents, d'après les taux actuels, aux caisses minières, et d'après les taux prévus par la nouvelle loi, aux caisses minières et à l'association (*).

Par mille ouvriers employés on doit payer :

1° Pour les cas d'accidents occasionnant moins de treize semaines d'incapacité de travail :

Salaires de maladie et frais de traitement	Taux actuels.	Taux futurs
	2.226 fr.	2.910 fr.

2° Pour les cas de plus de treize semaines :

a. Salaires de maladie et frais de traitement	640 fr.	984 fr.
b. Pensions d'invalides	3.736	6.165
c. — de veuves	3.380	3.477
d. — d'orphelins	4.452	2.254
Ensemble pour ces derniers cas	8.908 fr.	12.580 fr.
Total pour tous les cas	11.134 fr.	15.490 fr.

Donc, d'après les taux actuels, les caisses minières accordent 72 p. 100 des taux prévus par la loi.

Les chiffres ci-dessus (**) ont été obtenus en partant des suivants :

(*) Ces chiffres sont extraits d'un tableau joint au mémoire présenté au chancelier de l'Empire par l'Union allemande des caisses minières déjà citée. Ils sont le résultat de la statistique de tous les accidents survenus dans le plus grand nombre des diverses exploitations de mines de l'Empire en 1880, comprenant 230.000 ouvriers.

(**) Ces chiffres comprennent naturellement la charge totale résultant des accidents d'une année, c'est-à-dire le montant des frais de traitement, des salaires de maladie, des pensions d'invalides, de veuves et d'orphelins, ces pensions étant comptées pour la durée probable moyenne résultant des statistiques.

	TAUX ACTUELS.	TAUX FUTURS	
		au-dessous de 13 semaines.	au-dessus de 13 semaines.
a. Salaire journalier moyen de maladie.	1 ^f ,423	1 ^f ,623	2 ^f ,00
Frais de traitement et médecine.	0,50	0,50	0,50
Total par jour de maladie	1 ^f ,623	2 ^f ,123	2 ^f ,50
b. Pension moyenne journalière d'un invalide :			
Districts de Breslau, Halle, Clausthal.	1 ^f ,00	}	2 ^f ,00
— de Dortmund	1,40		
— de Bonn.	1,25		
c. Pension moyenne de veuve 66,66 p. 100 de celle des invalides, soit.	0,80	»	0,62
d. Secours d'orphelins	0,462	»	0,312

On a admis pour l'établissement de ces divers chiffres unitaires que le salaire journalier moyen des ouvriers est de 3^f,25 (2^{marcs},60) et le gain moyen annuel des assurés (parmi lesquels les employés) de 900 francs (720 marcs) pour 300 jours de travail.

Les conséquences à tirer de ces chiffres sont les suivantes :

Les charges totales (on n'a pas tenu compte des secours aux ascendants, n'ayant aucune base pour les évaluer) résultant des accidents montent de 11^f,14 par ouvrier actif à 15^f,47; elles augmentent donc de 4^f,33 ou de 39 p. 100.

Les charges sont partagées comme suit :

	Actuellement.	D'après la loi.
Caisses minières. { Ouvriers	11,14	2 ^f ,91
Associations, c'est-à-dire exploitants .	5 ^f ,57	14 ^f ,02
	11 ^f ,14	15 ^f ,47

Donc la charge des caisses minières se réduit de 11^f,14 à 2^f,91 par ouvrier actif, et la part contributive des ouvriers, qui est en général de 50 p. 100 des dépenses des caisses minières, se réduit de 5^f,57 à 1^f,45, ou, le

salaires annuels étant comptés de 900 francs, de 0,62 p. 100 à 0,16 p. 100 de ce salaire.

Au contraire, la charge des exploitants monte de 5^f,57 par ouvrier actif à 14^f,02, soit une augmentation de 8^f,45 par ouvrier actif.

Cette augmentation de charges devra se retrouver dans le prix de vente des produits, ainsi que l'indique l'exposé des motifs de la loi et que le supposent également toutes les personnes compétentes que j'ai consultées à ce sujet.

Si nous appliquons ce chiffre de 8^f,45 d'augmentation spécialement aux mines de charbon, nous trouvons que, pour les 179.579 ouvriers mineurs des exploitations de charbon en Prusse, en 1883, l'augmentation des dépenses des exploitants serait de 1.517.442 fr. (1.215.750 marcs), qui, répartie sur une production de 50.600.000 tonnes augmenterait le prix de la tonne de 30 centimes. Le prix moyen de la tonne de charbon ayant été, en 1883, de 6^f,30 (5^{marcs},04), l'augmentation correspondrait à 5 p. 100 de la valeur. C'est là une augmentation considérable, surtout dans les circonstances actuelles, et que l'on ne fera pas accepter aux consommateurs du jour au lendemain. Du reste, il faut observer que ce n'est pas dès les premières années qu'une charge pareille incombe aux exploitants, puisqu'ils n'ont pas à fournir le capital nécessaire pour assurer les pensions, mais à faire face seulement au paiement des pensions de l'année et que c'est seulement d'une manière successive que les dépenses augmentent, bien que les majorations prévues pour constituer le fonds de réserve soient les plus fortes dans les premières années. Pour se rendre compte des dépenses des premières années, il faudrait tenir compte de la mortalité des divers pensionnés. D'après un calcul superficiel que nous avons fait, il semblerait que, sauf pour les deux premières années, les majorations prévues

pour la constitution du fonds de réserve feront monter les dépenses dans les années suivantes au delà du chiffre normal de 15^f,47 par ouvrier actif indiqué plus haut.

Quant aux changements que la loi sur les accidents produira sur les allocations, nous voyons, d'après les chiffres donnés plus haut, que :

1° Le salaire des blessés est porté d'une moyenne de 1^f,125 à 1^f,625 pour les 5 premières semaines (*) payé par les caisses de malades; 2 francs pour le temps ultérieur, dont les caisses de malades paient 1^f,625 pendant 8 semaines, les exploitants eux-mêmes payant la différence pendant ce temps, c'est-à-dire 0^f,375; au bout de 13 semaines les 2 francs sont payés par les associations professionnelles;

2° Le taux des pensions d'invalides est augmenté par la nouvelle loi de 60 p. 100 environ des taux actuels, étant porté d'une moyenne de 1^f,25 à celle de 2 francs, c'est-à-dire à 66,66 p. 100 du salaire;

3° Le taux des pensions de veuves est un peu abaissé par la nouvelle loi, de 80 à 62 centimes; mais comme les caisses minières conserveront sans doute leurs anciens taux de pensions, elles paieront le surplus;

4° Les pensions d'orphelins sont presque doublées et portées de 0^f,162 à 0^f,312.

Tels seront, d'après les données suffisamment exactes que l'on a pour les mines, les résultats qui découleront de l'application de la loi sur l'assurance contre les accidents.

Si nous reprenons maintenant dans l'ensemble les modifications qui résultent pour les caisses minières, pour les ouvriers et pour les exploitants de l'application des nouvelles lois, nous trouvons :

(*) 50 p. 100 du salaire normal d'après la loi sur l'assurance contre les maladies.

	CHARGES PAR PARTICIPANT.					
	DES PARTICIPANTS.		DES EXPLOITANTS.		DES CAISSES.	
	Augmen- tation.	Dimi- nution.	Augmen- tation.	Dimi- nution.	Augmen- tation.	Dimi- nution.
	francs	francs	francs	francs	francs	francs
Par la loi sur les ma- ladies.	2,15	»	2,15	»	4,30	»
Par la loi sur les acci- dents.	»	4,12	8,45	»	»	8,23
	2,15	4,12	10,60	»	4,30	3,93
Diminution.	1,97		»		3,93	
Augmentation.	»		10,60		»	

C'est là naturellement une moyenne dont peuvent s'écarter notablement les chiffres relatifs à chaque caisse en particulier. Quoiqu'il en soit, ces chiffres prouvent bien que la charge des caisses minières et celle des participants sera diminuée, tandis que celle des exploitants se trouve considérablement accrue par les nouvelles lois, toutes choses égales d'ailleurs.

J'indiquerai encore les charges comparées pour le *Verein* de Saarbrück dans la situation actuelle et dans la situation future en tenant compte des lois nouvelles, en supposant que l'on soit arrivé au régime permanent avec le groupement actuel des membres, et en tenant compte également des pensions dues actuellement, et des intérêts du fonds de réserve actuel de 5.000.000 de francs environ.

	CHARGES PAR MEMBRE ACTIF					
	DES MEMBRES ACTIFS		DES EXPLOITANTS		DE LA CAISSE	
	actuelles.	futures.	actuelles.	futures.	actuelles.	futures.
	francs	francs	francs	francs	francs	francs
Frais de maladie. . .	9,76	13,30	9,76	13,30	19,52	26,60
Frais de pensions (ré- gime permanent pour le futur)	39,00	53,65	39,00	53,65	78,00	107,30
Frais divers (enter- rement, administra- tion, etc.)	2,27	2,50	2,27	2,50	4,54	5,00
	51,03	69,45	51,03	69,45	102,06	138,90
Frais d'accidents. . .	»	»	»	21,54	»	»
	51,03	69,45	51,03	90,99	102,06	138,90
En p. 100 moyen (1.180°).	4,3	5,9	4,3	7,7	8,7	11,8
Augmentation.	18°,42, 1,6 p. 100		39°,96, 3,3 p. 100		36°,84, 3,1 p. 100	

Ce tableau montre encore dans quelle proportion considérable les charges des exploitants sont accrues. Voici comment se présenteront à l'avenir les dépenses en général :

	Par membre actif et par an.	Pour 100 du salaire. normal.
1° Dépenses de la caisse. .	Frais de maladie 26°,60	2,28
	— de pensions. 107,30	9,13
	— divers 5,00	0,44
	Ensemble 138°,90	11,85
2° Dépenses spéciales des exploitants.	Frais d'accidents. 21,54	1,81
	Total. 160°,44	13,66

On comprend qu'en présence de l'augmentation considérable de leurs charges, les exploitants profitent de la disposition de la loi sur les mines qui ne les oblige qu'au versement de 50 p. 100 des sommes versées par les membres.

En terminant ce travail, nous chercherons à comparer les institutions de prévoyance pour les ouvriers mineurs

en Prusse, y compris les nouvelles lois sur l'assurance, avec nos institutions françaises actuelles, et à faire ressortir les différences principales.

Obligation légale. — Une première différence essentielle se trouve dans l'obligation légale existant en Prusse, d'après laquelle tous les ouvriers mineurs *doivent* faire partie de caisses minières auxquelles les exploitants *sont tenus* de faire des versements, de même que tous les ouvriers mineurs *doivent* être assurés contre les accidents par des associations entre exploitants et *aux frais de ceux-ci* (Loi sur les accidents).

Étendue des caisses. — Les caisses minières de la Prusse sont créées pour des districts déterminés et, en général, assez grands. Elles diffèrent encore par ce côté des caisses de secours de France, puisque nous ne trouvons en France que la « Caisse centrale », à Saint-Étienne, qui réunisse, et encore temporairement, un certain nombre d'exploitations pour les secours que nous avons appelés permanents. Le tableau ci-dessous fait bien ressortir cette différence (*).

	NOMBRE				
	d'exploitations.	de caisses.	de membres.	d'exploitations par caisse.	de membres par caisse.
France	205	146	109.237	1,4	748
Prusse	1.135	82	308.283	25,7	3.714

(*) Tous les chiffres relatifs aux caisses de la France sont extraits du rapport de M. l'ingénieur en chef des mines Keller, *Annales des mines*, 5^e livr. de 1884.

La solution la meilleure nous paraît comporter des caisses de maladie restreintes et des caisses de pensions ou de retraites très étendues, si les pensions ou retraites ne sont pas attribuées à la caisse des retraites pour la vieillesse.

Division des membres. — Tandis qu'en France les ouvriers ne forment, en général, qu'une seule catégorie, et qu'ils doivent seulement parfois faire un stage pour être admis comme participants, en Prusse, ils sont presque partout divisés en stables et en instables : les premiers ayant droit à toutes les allocations, les seconds n'ayant droit aux pensions qu'après un stage de deux, trois ou plusieurs années. Nous avons expliqué, à propos des fonds de réserve, quelle influence favorable la présence des membres instables a sur la situation pécuniaire des caisses. Nous avons résumé dans le tableau n° 8 (p. 426-427) les renseignements relatifs au personnel des caisses de la Prusse, comme membres stables (par catégories d'âge) et instables, comme invalides pensionnés et comme veuves et orphelins. En ne s'occupant que des stables (l'âge n'est pas indiqué pour les instables), on trouve en comparaison de la France :

	FRANCE.	PRUSSE.
Enfants	7,0 p. 100	0,4 p. 100
Ouvriers de 16 à 45 ans . . .	74,0	84,2
— de 46 à 55 — . . .	13,3	12,0
— au delà de 55 — . . .	5,7	3,4

Versement des membres. — La comparaison des versements des membres dans les caisses des mines de houille ressort du tableau suivant :

	SALAIRE moyen annuel.	VERSEMENT ANNUEL MOYEN				
		des stables.	des instables.	général.	du salaire.	
France	francs 1.100	francs »	francs »	francs 32,96	p. 100 2,96	
Prusse {	actuellement	950	41,37	26	34,12	3,58
	après les lois nouvelles.	»	»	»	32,15	3,38

On reconnaît donc que le versement *moyen* de tous les participants (employés et ouvriers), en Prusse, est à peu près égal à celui moyen des ouvriers *versants* des mines de France; il est sensiblement supérieur, si on le rapporte au salaire. Le versement moyen maximum, en Prusse, est de 53 francs (à l'avenir 69 francs), à Saarbrück, et de 39 francs, en France, dans le Gard.

Charges des exploitants. — Le tableau ci-dessous donne la comparaison des dépenses moyennes annuelles des exploitants par membre actif :

	DÉPENSE MOYENNE ANNUELLE DES EXPLOITANTS pour secours, service médical et pensions		
	PAR MEMBRE ACTIF		du salaire moyen.
	actuelles.	futures.	
France	francs 29,10	francs »	p. 100 2,47
Prusse	30,38	»	3,2
	»	40,98	4,3

On voit encore ici que la charge moyenne des exploitants est plus forte en Prusse qu'en France, surtout après l'application des nouvelles lois.

Mais si nous comparons, par exemple, les dépenses que font MM. Schneider et C^{ie}, et qui sont de 69^f,35 par

membre actif aux mines de Decize, et de 66^f,32 en Saône-et-Loire, ainsi que celles de diverses mines de la Loire, qui sont de 62^f,74 au maximum des dépenses des exploitants en Prusse, lequel est de 51^f,03 à Saarbrück, nous trouvons une différence considérable en faveur des premiers chiffres, le salaire moyen étant plutôt inférieur à Decize, par exemple. Il est juste d'ajouter que, par suite de l'application des nouvelles lois, les dépenses des exploitants à Saarbrück monteront à 76^f,11 par membre actif; mais Saarbrück constitue une véritable exception, et pour toutes les autres mines de la Prusse le chiffre futur moyen de 40^f,98 est en même temps un maximum qu'elles n'atteignent pas même.

Comparée aux versements des membres, nous avons vu que la moyenne des versements actuels des exploitants est pour les mines de houille, en Prusse, de 98,4 p. 100; en France, ce rapport est supérieur à 100 p. 100, à cause des exploitations qui prennent tous les frais à leur charge, et arrive à peu près à 107 p. 100.

Allocations. — Nous distinguerons les allocations en temporaires et permanentes, comme nous l'avons fait plus haut.

Allocations temporaires. — Tandis qu'en France le traitement et les médicaments sont fréquemment accordés gratuitement aux familles des membres, ils ne le sont que tout à fait exceptionnellement en Prusse, où les membres seuls et les invalides y ont droit, et cela pour un temps illimité s'il s'agit de membres stables ou d'invalides, et pour un temps limité de 13 semaines jusqu'à 6 mois s'il s'agit de membres instables, sauf en cas d'accident.

La *moyenne* des salaires de maladie est actuellement en Prusse :

	Par jour ouvrable.	ou	Pour 100 du salaire moyen.
De	1 ^f ,00		33,33
Maximum à Essen	1,22		35,88
Minimum à Eschweiler	0,86		29,25

tandis qu'en France le maximum est à Carmaux de 1^f,75 (1^f,50 étant assez fréquent), et le minimum de 40 à 60 centimes (également assez fréquent).

Par suite de la nouvelle loi sur l'assurance contre les maladies, la moyenne du salaire de maladie (50 p. 100 du salaire normal) pour les caisses en Prusse sera de 1^f,40 par jour avec maximum, à Saarbrück, de 1^f,95.

Quant aux salaires en cas d'accident, ils étaient les mêmes jusqu'ici en Prusse qu'en cas de maladie ordinaire; par suite de la loi sur l'assurance contre les accidents, ils seront à l'avenir en moyenne par jour ouvrable de 1^f,86, et au plus de 2^f,60, soit 66,66 p. 100 du salaire normal : ils sont donc doublés.

Il est possible de comparer les dépenses des caisses par membre actif dans les deux pays pour le service médical. Elles sont :

	FRAIS DU SERVICE MÉDICAL par membre actif.		
	Maximum.	Moyenne.	Minimum.
France	18 ^f ,42	11 ^f ,84	4 ^f ,08
Prusse	10,26	9,44	5,85

Ces dépenses sont donc supérieures en France.

Quant aux dépenses pour salaires de maladie, elles sont, en Prusse, par membre actif :

Maximum.	Moyenne.	Minimum.
14 ^f ,21	6 ^f ,49	3 ^f ,48

Il n'y a pas de terme comparatif pour la France, où ces secours temporaires sont confondus avec les pensions.

Allocations permanentes. Pensions d'invalides. —

Nous avons déjà fait observer que, dans l'organisation des caisses prussiennes, la pension de *retraite*, basée uniquement sur l'âge, est inconnue, et qu'il n'existe que des pensions d'*invalides* pour le cas d'incapacité de travail, le taux de ces pensions variant d'ailleurs avec le temps de service du participant depuis son admission à la caisse.

La moyenne générale des pensions payées en Prusse, aux mines de houille, a été de 98 centimes, chiffre qui se rapproche de celui de 1 franc que nous croyons pouvoir admettre pour les caisses de France; en pour cent du salaire, cela représente 30 p. 100 pour la Prusse, et 25 p. 100, à peu près, pour la France. Nous renvoyons au tableau n° 5, pour le détail des pensions d'invalides.

Pour les cas d'accidents, les pensions sont augmentées, d'après les statuts actuels, en Prusse, proportionnellement à 15 ou 20 ans de service.

D'après la loi sur les accidents, la moyenne des pensions pour les victimes d'accidents sera de 650 francs par an (66,66 p. 100 du salaire), le maximum moyen de 786 francs (Saarbrück), le minimum moyen de 500 francs (Silésie).

Pensions de veuves. — En Prusse, la pension s'accorde aux veuves de tous les membres actifs ou invalides, tandis qu'en France elle n'est accordée souvent qu'aux veuves d'ouvriers morts par accident. Le tableau n° 6 donne le taux des pensions, qui est, en général, de 60 p. 100 de la pension à laquelle aurait eu droit le mari défunt. La moyenne pour les caisses des houillères, en 1883, a été de 56 centimes par jour ouvrable; il est probable que cette moyenne est inférieure en France.

Secours aux orphelins. — Les secours aux orphelins, qui se paient jusqu'à l'âge de quatorze ans révolus, en Prusse, sont en moyenne de 14 centimes par jour ouvrable. En France, M. Keller indique de 10 à 40 centimes jusqu'à l'âge de douze ans.

Secours aux ascendants. — Les secours aux ascendants étaient inconnus dans les caisses minières de Prusse; la loi sur l'assurance contre les accidents en prévoit.

Ensemble des secours permanents. — Le tableau annexe n° 7 donne le total des pensions payées par les diverses caisses de la Prusse en 1883. Il résulte de ce tableau que le total des pensions payées par les caisses des houillères a été par membre actif :

En moyenne de	43 ^f ,57
Avec maximum de	77,91 (à Saarbrück)
Et minimum de	28,11 (à Pless)

En y ajoutant les salaires de maladie et les secours d'enterrement, nous obtiendrons des chiffres comparables à ceux donnés par M. Keller pour la France. Le relevé ci-dessous donne la comparaison des maxima et minima, et de la moyenne des dépenses dans les deux pays.

Dépenses actuelles des caisses des houillères
par membre actif participant.

	MAXIMA.			MINIMA.			MOYENNE.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	
France.	Service médical. . .	18,42	»	»	4,08	»	11,84
	Secours et pensions.	»	61,81	»	»	13,53	»
	Ensemble.	»	»	76,32	»	»	17,61	47,71
Prusse.	Service médical. . .	10,25	»	»	5,85	»	9,14
	Secours et pensions.	»	89,00	»	»	32,59	»
	Ensemble.	»	»	99,25	»	»	38,44	62,77

Observons encore qu'après application des nouvelles lois sur l'assurance obligatoire en Prusse, la dépense moyenne par membre actif, en y comprenant celle spéciale aux exploitants pour les accidents, sera :

Pour service médical	9 ^f ,14
— secours et pensions.	60,37
Ensemble.	70,51

Dans les comparaisons qui précèdent, je ne me suis pas occupé des dépenses pour frais d'école, qui sont supportées par certaines caisses dans les deux pays, et qui sont destinées à disparaître. Je ne parle pas non plus des allocations en charbon, loyers à bon marché, etc., qui sont indépendantes des caisses minières et se ressemblent dans les deux pays.

Quant à la comparaison de l'administration des caisses, je crois pouvoir renvoyer à ce qui précède pour la Prusse, supposant connue l'organisation des caisses de la France.

Si le rapprochement des institutions de prévoyance établies pour les ouvriers mineurs en France par l'initiative privée, en Prusse par la loi, montre d'une part que les caisses minières allemandes font, en général, plus que nos caisses françaises, et notamment pour ce qui concerne les pensions des ouvriers atteints d'incapacité de travail, et que les exploitants en Prusse contribuent presque tous aux caisses pour une somme égale à celle versée par les ouvriers, ce que ne font pas tous nos exploitants, il fait voir, d'autre part, que l'on n'y trouve point des exploitants qui, comme chez nous (la régie d'Anzin, le Creuzot et les mines de la Loire), supportent seuls tous les frais, soit de maladie, soit de pensions, plus des frais d'école, etc.

On ne saurait donc regretter que des prescriptions légales ne soient pas encore intervenues en France, car elles auraient probablement eu pour effet d'entraver l'initiative des exploitants et de diminuer les bénéfices dont jouissent les ouvriers dans beaucoup d'exploitations, ce qui n'exclut pas que le moment puisse être venu de faire des prescriptions précisément pour les cas où l'initiative privée n'a rien produit encore ou n'a produit que des choses insuffisantes. Mais, à cet égard, l'exploitation des mines est certainement aussi bien en France, parmi toutes les industries, celle qui a le plus fait, comme elle

l'est en Allemagne; et si, dans ce dernier pays, on a pu la prendre pour point de départ et pour modèle dans les prescriptions générales des nouvelles lois applicables à toutes les industries, il pourrait en être de même chez nous.

L'exploitation des mines est certainement, avec les industries métallurgiques qui en dépendent, la plus ancienne des industries occupant un grand nombre d'ouvriers, et il est naturel que les institutions de prévoyance se soient développées spécialement dans cette industrie, qui présente des dangers particuliers.

En Allemagne, où l'exploitation des mines est très ancienne, les institutions de prévoyance pour les ouvriers mineurs ont été soumises de bonne heure à des prescriptions réglementaires ou légales ainsi que l'exploitation des mines elles-mêmes.

Cette industrie sort, en effet, tant par la nature des gîtes minéraux que par le mode de leur exploitation, des règles communes et l'on a été conduit tout naturellement à créer un droit minier spécial. Toutefois il n'y avait lieu de créer des règles spéciales que pour les points par lesquels l'industrie des mines diffère de toutes les autres industries, savoir :

1° L'institution de la propriété minière ou l'attribution du droit d'exploitation ;

2° Les relations de l'exploitation avec la surface du terrain et celles des exploitants entre eux ;

3° La police des mines entendue au point de vue technique, bon aménagement des gîtes, exploitation rationnelle et prévention des accidents.

En dehors de ces trois points, le droit commun fournit tous les éléments nécessaires à la solution de toutes les questions et notamment de toutes celles qui touchent au domaine économique et commercial de l'exploitation des mines. Sous ce rapport il n'y a donc aucun motif pour

créer une législation spéciale à l'industrie des mines.

En Allemagne, on a si bien compris cela que l'on a aboli successivement toutes les anciennes prescriptions qui gênaient le libre développement de l'industrie minière ainsi que nous l'avons indiqué, en passant, à propos de la situation des ouvriers dans le district de Dortmund, et sous le régime de liberté et d'assimilation de l'industrie minière aux autres industries, elle a pris un développement énorme.

Cette observation s'applique particulièrement aux relations entre patrons et ouvriers, aux caisses de secours et de prévoyance, à l'assurance contre les accidents, etc.

En effet, la *Gewerbeordnung* (règlement d'industrie) a abrogé toutes les dispositions spéciales aux mines concernant les relations entre exploitants et ouvriers et a soumis ces relations aux mêmes règles que dans toutes les autres industries.

Ensuite les nouvelles lois d'Empire sur l'assurance contre la maladie et les accidents ont également fait rentrer l'exploitation des mines dans la règle générale. Pour ce qui concerne la maladie notamment, l'organisation existante des caisses minières a servi en quelque sorte de modèle. Il en sera certainement de même pour les pensions d'invalides ou les retraites, pour lesquelles on prépare, en Allemagne, une troisième loi d'Empire dans le régime de laquelle viendront se fondre les *Knappschaftscassen*.

On voit donc clairement qu'en Allemagne où, par suite de l'ancienneté même de l'industrie minière, celle-ci avait en quelque sorte une avance sur les autres industries au point de vue des institutions de secours et de prévoyance, on a pris ces institutions pour point de départ d'une législation générale et commune à toutes les industries.

On peut se demander s'il n'y a pas lieu de suivre cette

412 ÉTUDE SUR LES INSTITUTIONS DE PRÉVOYANCE

voie chez nous plutôt que de créer une législation spéciale pour les mines relative à l'assurance des ouvriers contre les maladies et les accidents et aux retraites, et de faire ainsi disparaître un des principes fondamentaux de notre droit public, l'égalité devant la loi. Cette question nous paraît devoir se poser, d'autant plus que l'exemple de l'Allemagne prouve qu'il est possible de tenir compte, dans la législation générale sur ces matières et notamment sur l'assurance contre les accidents, des risques particuliers de l'industrie des mines, et qu'ainsi il ne reste aucun motif pour une législation spéciale qui a des motifs sérieux contre elle.

Angers, le 1^{er} septembre 1885.

Situation des caisses, avoirs, recettes et dépenses, totaux et par membre en 1883.

NOMS des VEREINE.	NOMBRE DES MEMBRES.	SALAIRE ANNUEL MOYEN.	FONDS DE RÉSERVE total et par membre.	RECETTES TOTALES ET PAR MEMBRE ACTIF.				DÉPENSES TOTALES ET PAR MEMBRE ACTIF.											EXCÉDANT Total et par membre.	DÉFICIT.		
				Versements des membres.	Versements des exploitants.	Intérêts des capitaux et diverses.	Total des recettes ordinaires.	Traitement et médicaments.	Salaires de maladie.	Total pour maladies.	Pensions d'invalides.	Pensions de veuves.	Pensions d'orphelins.	Total pour pensions.	Frais pour écoles.	Frais d'entretien et extraordinaires.	Frais d'administration.	Total des dépenses.				
Saarbrück.	6.490	324	309.398 82	fr. 113.486 18,33	fr. 84.975 13,49	fr. 25.774 4,16	fr. 224.235	fr. 26.857 4,34	fr. 38.257 6,18	fr. 65.115 10,52	fr. 26.314 4,30	fr. 43.698 7,06	fr. 16.440 2,65	fr. 86.422 14,01	fr. 19.725 3,18	fr. 859 0,14	fr. 3.750 0,60	fr. 176.870 28,57	fr. 47.372 7,65			
Wurmverein.	1.636	456	197.790 121	fr. 17.164 10,49	fr. 39.724 24,29	fr. 11.137 6,80	fr. 68.025	fr. 6.150 3,76	fr. 13.819 8,44	fr. 19.969 12,20	fr. 6.198 3,79	fr. 7.687 4,70	fr. 3.975 2,45	fr. 17.860 10,92	fr. 7.076 4,32	fr. 1.425 0,60	fr. 2.974 1,81	fr. 49.004 29,96	fr. 19.024 11,62			
Eschweiler.	1.127	600	400.695 89	fr. 7.324 6,50	fr. 9.461 8,13	fr. 9.904 8,78	fr. 26.389 23,41	fr. 4.335 3,84	fr. 2.685 2,38	fr. 7.020 6,22	fr. 6.791 6,08	fr. 4.230 3,75	fr. 4.230 3,75	fr. 12.273 10,94	fr. 300 0,26	fr. 187 0,17	fr. 1.035 0,97	fr. 20.875 18,52	fr. 5.514 4,89			
Essen.	4.087	462	459.277 112	fr. 96.617 23,64	fr. 51.202 12,52	fr. 17.062 4,17	fr. 164.881	fr. 22.897 3,00	fr. 35.036 8,61	fr. 57.933 14,21	fr. 36.154 8,87	fr. 16.800 4,11	fr. 7.684 4,11	fr. 60.638 14,86	fr. 13.462 2,99	fr. 9.401 2,36	fr. 3.375 0,82	fr. 144.509 35,35	fr. 20.372 4,98			
Marche.	4.876	494	615.274 126	fr. 123.392 25,34	fr. 62.876 12,89	fr. 21.067 4,34	fr. 207.335	fr. 27.821 5,70	fr. 31.890 6,54	fr. 59.741 12,24	fr. 62.136 12,75	fr. 34.518 7,08	fr. 12.787 2,92	fr. 109.461 22,45	fr. 409.461 84,42	fr. 4.125 0,84	fr. 4.662 0,96	fr. 177.969 36,49	fr. 29.376 6,07			
Mülheim.	672	469	66.468 98	fr. 12.225 18,10	fr. 10.878 16,18	fr. 2.205 3,28	fr. 25.308	fr. 3.995 5,94	fr. 4.322 7,17	fr. 8.817 13,11	fr. 7.248 16,78	fr. 2.884 4,29	fr. 2.085 3,10	fr. 495.987 18,17	fr. 12.217 18,17	fr. 384 0,58	fr. 1.356 2,31	fr. 22.984 34,32	fr. 2.324 3,35			
Ibbenbüren.	219	376	45.048 206	fr. 4.312 19,69	fr. 4.991 22,83	fr. 1.402 6,40	fr. 10.705	fr. 1.217 5,14	fr. 2.332 10,64	fr. 1.897 8,66	fr. 3.907 17,84	fr. 757 3,46	fr. 6.561 29,95	fr. 6.561 29,95	fr. 1.250 5,70	fr. 450 0,68	fr. 120 0,40	fr. 10.443 47,54	fr. 292 1,38			
Silésie Haute, Silé- sie Basse et Pless.	16.942	384	1.757.220 104	fr. 258.830 14,09	fr. 193.986 11,40	fr. 52.549 3,10	fr. 485.365	fr. 48.491 2,86	fr. 135.202 3,12	fr. 71.385 4,21	fr. 68.988 4,07	fr. 50.182 2,96	fr. 190.555 11,24	fr. 61.046 3,60	fr. 4.275 0,25	fr. 2.756 0,10	fr. 303.834 23,24	fr. 91.531 5,41				
Ensemble pour les houillères.	35.749	420	3.649.447 102	fr. 613.550 17,16	fr. 457.733 12,80	fr. 141.100 3,97	fr. 1.212.443	fr. 141.671 3,96	fr. 214.427 6,00	fr. 386.089 9,98	fr. 218.143 6,10	fr. 182.742 3,25	fr. 95.132 2,66	fr. 495.987 14,01	fr. 102.559 2,87	fr. 20.246 0,56	fr. 20.288 0,56	fr. 996.448 27,57	fr. 216.002 6,04			
Total pour 53 ver- eins de Prusse.	51.060	468	4.842.795 86	fr. 855.964 16,76	fr. 713.231 13,96	fr. 209.381 4,10	fr. 1.778.576	fr. 273.334 5,35	fr. 326.980 4,96	fr. 302.635	fr. 263.775	fr. 145.837	fr. 682.237	fr. 126.082	fr. 2.447	fr. 1.591	fr. 40.061	fr. 1.436.603	fr. 321.973			fr. 28.552

TABLEAU N° 2.

Versements statutaires et moyens par an des membres et des exploitants.

NOMS DES VEREINE.	NOMBRE des membres. — S. Stables I. Instables	DIVISION des membres d'après les statuts.	VERSEMENTS								OBSERVATIONS.
			DES MEMBRES.					DES EXPLOITANTS.			
			Statutaires par classe.	Totaux en 1883.	Moyens partiels en 1883.	Moyens généraux en 1883.	En p. 100 du salaire.	Statutaires en p. 100 des versements des membres.	Totaux en 1883.	En pour 100 des versements des membres en 1883.	
Saarbrück	S. 49.433	Employés de 1 ^{re} cl.	90,00	S. 1.043.862	M 53,12	M 53,00	4,51	100,00	1.319.700	99,50	Les membres actifs seuls versent. Les membres en congé ont à verser 0 ^e ,625 par mois.
	I. 5.320	Id. de 2 ^e cl.	67,50	I. 277.489	M 50,25						
Wurmverein	S. 3.453	1 ^{re} cl. Employés.	48,75	S. 135.150	39,12	33,87	3,70	100,00	194.869	99,80	Les versements cessent : 1 ^o Pendant le service militaire ; 2 ^o Après 40 ans de service ; 3 ^o Pendant une maladie de plus d'un mois.
	I. 2.310	1 ^{re} cl. Ouvr. stables.	33,75	I. 60.022	26,00						
Eschweiler	S. 755	A. Employés de 1 ^{re} cl.	45,00	S. 26.789	35,50	31,25	3,40	100,00	33.871	100,00	Les versements cessent comme au Wurmverein. Les membres en congé font des versements doubles.
	I. 395	B. Id. de 2 ^e cl. et ouvriers.	37,50								
Marche	S. 31.603	Employés de 1 ^{re} cl.	67,50	S. 1.249.500	39,50	32,12	3,10	100,00	2.165.681	100,00	Comme ci-dessus.
	I. 33.376	Id. de 2 ^e cl.	45,00								
Mülheim	S. 1.228	A. Employés de 1 ^{re} cl.	67,50	S. 56.844	46,25	36,00	3,50	100,00	99.571	100,00	Comme ci-dessus.
	I. 1.427	B. Id. de 2 ^e cl.	45,00								
Ibbenbüren	S. 472	Employés de 1 ^{re} cl.	72,00	S. 22.556	45,60	45,00	4,50	100,00	27.012	100,00	Comme ci-dessus. Les versements cessent après 50 ans de service.
	I. 108	Id. de 2 ^e cl.	54,30								
Silésie (Haute-)	S. 20.614	1 ^o Employés de 1 ^{re} cl.	67,50	S. 788.321	38,25	30,62	4,08	90,80	1.215.842	90,00	Les versements sont retenus même sur le salaire de maladie.
	I. 22.154	2 ^o Id. de 2 ^e cl.	39,00								
Silésie (Basse-)	S. 7.335	A. membres de 1 ^{re} cl.	48,75	S. 249.081	33,87	27,37	3,65	82,20	312.829	77,40	Les versements cessent après 50 ans de service.
	I. 7.449	B. Id. instables.	33,75								
Pless	S. 489	A. Employés de 1 ^{re} cl.	45,00	S. 13.796	m 28,25	m 22,75	3,20	80,00	14.542	m 73,00	Les versements cessent après 40 ans de service.
	I. 390	B. Id. de 2 ^e cl. et ouvriers.	30,00								
Ensemble pour les caisses houillères.	S. 99.730 I. 88.531	Moyenne des versements statutaires des ouvriers.	37,50 24,37	S. 4.127.409 I. 2.298.817	41,37 26,00	34,12	3,58	»	6.327.182	98,40	
Ensemble pour les 83 vereine de Prusse.	S. 471.637 I. 136.646	» »	» »	S. 6.112.756 I. 3.651.111	35,60 23,10	30,00	3,08	»	8.615.357	93,00	

Les lettres M et m indiquent des maxima et des minima.

TABLEAU N° 4.
Secours d'enterrement, secours d'orphelins, secours extraordinaires et frais d'école pour les membres ouvriers.

NOMS des VEREINE.	NOMBRE de membres. — S. Stables. I. Instables.	DIVISION des ouvriers.	SECOURS d'enter- ment.	SECOURS aux orphelins de père.	SECOURS aux orphelins de père et mère.	TOTAL des secours en 1883.	NOMBRE d'orphelins.	OBSERVATIONS.	SECOURS extraordinaires.	FRAIS D'ÉCOLE.	FRAIS D'ÉCOLE	
											en 1883.	par membre actif.
Saarbrück.	S. 19.336	Stables. Instables.	francs 94,00	centimes 12,5	centimes par jour 37,5	francs 184,162	3.236	Les secours sont donnés aux orphelins des membres instables après dix ans de service ou en cas de mort par accident. Ils se paient jusqu'à seize ans.	Indéterminés En 1883, 10.696 ^f ,00 Par actif, 0 ^f ,43	Jusqu'à l'année dernière pour les enfants des stables ayant dix ans de service.	francs 241,074	fr. c. 9,64
	I. 5.320											
Wurmverein.	S. 3.455	Stables. Inst. tués par accid.	25,00	13,3	26,6	32,439	609	Les secours aux orphelins se paient jusqu'à quatorze ans révolus.	Indéterminés En 1883, 689 ^f ,00 Par actif, 0 ^f ,11	Jusqu'à l'année dernière la caisse payait une contribution variable.	4,763	0,82
	I. 2.310											
Eschweiler.	S. 735	Ouvriers supérieurs. Ouvriers inférieurs.	15,00	7,5	20	4,376	167	Comme ci-dessus.	Indéterminés. En 1883, 152 ^f ,00 Par actif, 0 ^f ,13	Néant.	»	»
	I. 395											
Essen.	S. 14.146	Ouvriers I ^{re} classe. Id. II ^e classe. Id. instables..	62,50 50,00 37,50	12,5 8,3 6,3	12,5 8,3 6,3	271,922	6.814	Comme ci-dessus. — Les secours sont donnés aussi aux enfants des invalides pensionnés.	Indéterminés. En 1883, 1.256 ^f ,00 Par actif, 0 ^f ,04	Provisoirement pour les enfants des membres de I ^{re} cl. et des inval. II ^e cl.	101,445	3,50
	I. 15.600											
Marche.	S. 31.603	Ouvriers I ^{re} classe. Id. II ^e classe. Id. instables..	62,50 50,00 37,50	16,2 12,7 9,5	16,2 12,7 9,5	700,431	14.555	Comme à Essen.	C. Indéterminés. En 1883, 5.250 ^f ,00 Par actif, 0 ^f ,08	Néant.	»	»
	I. 33.376											
Mülheim.	S. 1.228	Ouvriers I ^{re} classe. Id. II ^e classe. Id. instables..	62,50 50,00 37,50	12,5 10 6,3	peut être doublé	31,460	1.057	Comme à Essen.	Indéterminés. En 1883, 629 ^f ,00 Par actif, 0 ^f ,23	Néant.	»	»
	I. 1.427											
Ibbenbüren.	S. 472	Stables. Inst. tués par accid.	50,00	15	45	8,742	155	Comme à Saarbrück.	Indéterminés. En 1883, 750 ^f ,00 Par actif, 1 ^f ,32	Comme à Essen.	3,091	5,37
	I. 108											
Silésie Haute.	S. 20.614	Ouvriers II ^e classe. Id. III ^e classe. Inst. tués par accid.	18,75 56,00	11,2 10	27,5 25 25	154,133	4.000	Les secours peuvent aussi être accordés aux enfants d'invalides, ainsi qu'au delà de quatorze ans.	Indéterminés. En 1883, 31.582 ^f ,00 Par actif, 0 ^f ,73	Secours de 2 francs par enfant jusqu'à 14 ans révolus.	70,276	1,64
	I. 22.154											
Silésie Basse.	S. 7.335	A. Ouvriers I ^{re} cl. Id. II ^e cl. B. Instables (accid.).	18,75 et 56,00	21,8 13,4 13,1	43,6 26,2 26,2	49,556*	883	Comme en Haute-Silésie.	Indéterminés. En 1883, 8.990 ^f ,00 Par actif, 0 ^f ,61	Néant.	»	»
	I. 7.449											
Pless.	S. 489	B. Ouvriers C. Id. inférieurs. Id. instables..	18,75 et 56,00	11,2 10 10	27,5 25 25	2,672	8	Comme en Haute Silésie.	Indéterminés. En 1883, 18 ^f ,75 Par actif, 0 ^f ,02	Comme en Silésie Haute.	1,246	1,37
	I. 390											
Ensemble pour les caisses des houil- lères en Prusse.	S. 99.730	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	1.439,896	31.113	. . . . .	En 1883, 60.144 ^f ,00 Par actif, 0 ^f ,32	. . . . .	421,902	2,24
	I. 88.531											
Ensemble pour les 83 caisses de Prusse.	S. 171.637	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	1.744,780	42.553	. . . . .	En 1883, 140.000 ^f ,00 Par actif, 0 ^f ,45	. . . . .	459,860	1,49
	I. 136.646											

NOTA. — Les secours payés en 1883 comprennent également ceux des orphelins, etc., d'après (*) Le total de 1883 a été établi par analogie.

qu'il n'est pas possible de séparer.

Pensions d'invalides statutaires pour les ouvriers

TABLEAU

N° 5.

moyennes générales payées en 1883 par jour ouvrable.

NOMS des VEREINE.	NOMBRE des membres. S. Stables. I. Instables.	DIVISION des ouvriers.	AGE MOYEN d'invalidité. ans.	NOMBRE d'invalides en 1883.		TAUX DES PENSIONS STATUTAIRES après un service de					PENSIONS STATUTAIRES en p. 100 du salaire moyen après 30 ans.		TOTAL des pensions en 1883.	MOYENNE générale des pensions en 1883.		OBSERVATIONS.
				Total.	Pour 400 des stables.	10	20	30	40	Ordinaire.	Accident.	Par jour.		En p. 100 du salaire.		
						ans.	ans.	ans.	ans.						ans.	
Saarbrück	S. 19.633 I. 5.320	Stables Instables	49,1	3.070	13,6	0,40	0,85	1,50	2,25	3,45	38	49	1.208.000	1,30	33,4	Les instables n'ont droit à pension qu'en cas d'accident.
Wurmverein	S. 3.455 I. 2.310	Stables Instables	53,9	464	13,4	0,62	1,00	1,25	1,30	2,00	41	50	133.624	0,95	31	Comme ci-dessus.
Eschweiler	S. 755 I. 395	Ouvriers supérieurs. Id. inférieurs. Id. instables.	56,5 M	162	21,5	0,25 0,21	0,56 0,36	0,77 0,51	0,86 0,64	0,86 0,64	17 m	21 m	33.602	0,69	22,5	Les pensions ont été réduites à cause de la mauvaise situation de la caisse.
Essen	S. 14.146 I. 15.600	Ouvriers de I ^e classe Id. de II ^e classe Id. instables.	45,2	2.320	16,4	0,69 0,55	0,88 0,70	1,12 0,90	» »	2,50 2,00 1,50	34	41	634.650	0,91	27	Les pensions sont réduites de 50 pour 100 si l'invalidé gagne ailleurs plus que le double de la pension.
Marche	S. 31.603 I. 33.376	Ouvriers de I ^e classe Id. de II ^e classe Id. instables.	44,3 m	4.840	15,3	0,69 0,55	0,88 0,70	1,12 0,90	» »	2,50 2,00 1,50	34	41	1.418.926	0,98	28	La pension ne commence, pour la II ^e classe, qu'après dix ans de service.
Mülheim	S. 1.228 I. 1.427	Ouvriers de I ^e classe Id. de II ^e classe Id. instables.	47,8	332	27	0,55 »	0,69 0,44	0,90 0,70	» »	2,00 1,60 1,20	26	31	67.948	0,69	20 m	
Ibbenbüren	S. 472 I. 108	Stables Instables	50,4	97	20	0,52	0,80	1,50	2,25	2,16	44	56	21.809	0,70	21	
Silésie Haute	S. 20.614 I. 22.154	Ouvriers de II ^e classe Id. de III ^e cl. Id. instable.	46,2	3.600	17,5	0,40 0,30	0,65 0,49	0,90 0,68	1,08 0,80	1,68 1,25 0,75	32	52	879.484	0,80	32	
Silésie Basse	S. 7.335 I. 7.449	A. Ouvriers de I ^e cl. Id. de II ^e cl. B. Id. instables.	51,3	842	11,3	0,98 0,56	1,20 0,70	1,44 0,90	1,68 1,03	2,28 1,40 0,65	46 M	58 M	225.366	0,90	36 M	
Pless	S. 489 I. 390	B. Ouvriers C. Id. inférieurs. Id. instables.	53,2	75	15,3	0,37 0,30	0,56 0,42	0,75 0,60	1,10 0,75	1,70 1,20 0,75	28	50	13.840	0,61 m	26	
Ensemble pour les caisses de houil- lères en Prusse.	S. 99.730 I. 88.531	.....	48,5	15.802	16	»	»	»	»	»	environ 35	environ 51	4.637.250	0,98	30,8	NOTA. — Les pensions payées en 1883 comprennent aussi celles payées aux employés invalides, lesquelles n'ont pu être séparées.
Ensemble pour les 83 caisses de Prusse	S. 171.637 I. 136.646	.....	48,5	21.215	12,3	»	»	»	»	»	»	»	5.964.740	0,95	28,8	Les lettres M et m indiquent des maxima et des minima.

TABLEAU N° 6.
Pensions de veuves statutaires et moyennes générales payées en 1883 par jour ouvrable.

NOMS DES VEREINE.	NOMBRE de membres. — S. Stables. I. Instables.	DIVISION * des ouvriers.	TAUX DES PENSIONS DES VEUVES après un service des stables de					TAUX DES PENSIONS DES VEUVES après un service des stables de (suite.)					TOTAL des pensions en 1883.	NOMBRE de veuves.	PENSION moyenne par jour.	TAUX statutaires des pensions de veuve en pour 100 de celles des invalides.	OBSERVATIONS.	
			10 ans	20 ans	30 ans	40 ans	50 ans	10 ans	20 ans	30 ans	40 ans	50 ans						
			mort ordinaire					à la suite d'accident.										
Saarbrück.	S. 19.633	Stables.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	552.033	2.518	francs 0,73 M	p. 100 60	Les veuves des mem- bres instables ne tou- chent une pension que si le mari est mort à la suite d'un accident. Les sommes relatives à 1883 comprennent aussi les pensions des veuves d'employés.
	I. 5.320	Instables.	0,35	0,65	0,90	1,35	1,80	0,80	1,40	1,35	1,80	2,25	0,80					
Wurmverein.	S. 3.455	Stables.	0,42	0,68	0,82	1,00	1,10	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	132.645	721	0,60	66		
	I. 2.310	Instables.																
Eschweiler.	S. 755	Ouvriers supérieurs.	0,15	0,27	0,37	0,45	0,50	0,33	0,33	0,41	0,53	0,53	19.671	315	0,21 m	50		
	I. 395	Id. inférieurs.	0,12	0,17	0,25	0,31	0,35	0,24	0,24	0,28	0,32	0,32						
Essen.	S. 14.146	Ouvriers de I ^{re} classe.	0,46	0,58	0,74	1,00	1,30	0,58	0,74	0,92	1,20	1,50	378.452	1.880	0,68	66,66		
	I. 15.600	Id. de II ^e id.	0,36	0,48	0,60	0,80	1,00	0,48	0,60	0,74	1,00	1,33						
Marche.	S. 31.603	Comme à Essen.	Comme à Essen.					Comme à Essen.					738.301	3.770	0,66	66,66		
	I. 33.376																	
Mülheim.	S. 1.228	Comme à Essen.	0,36	0,46	0,60	0,80	1,00	0,50	0,60	0,75	1,00	1,33	38.840	275	0,47	66,66		
	I. 1.427		"	0,30	0,48	"	"	0,40	0,48	0,59	"	1,03						
Ibbenbüren.	S. 472	Stables.	0,35	0,65	0,90	1,35	1,80	0,80	1,40	1,35	1,80	2,25	12.181	102	0,40	environ 60		
	I. 108	Instables.																
Silésie (Haute-).	S. 20.614	Ouvriers de II ^e classe.	0,25	0,37	0,51	0,65	0,80	Taux ordinaires		0,78	429.789	3.700	0,40	environ 60				
	I. 22.154	Id. de III ^e id.	0,19	0,29	0,37	0,49	en majorant de 30 ans		0,60	deservice avec maximum de								
Silésie (Basse-).	S. 7.335	Comme en Haute-Silésie.	0,56	0,70	0,90	1,05	Taux ordinaires		197.630		1.165	0,56	environ 60					
	I. 7.449		0,31	0,41	0,51	0,61	en majorant le temps			deservice de 15 ans.								
Pless.	S. 489	B. Ouvriers.	0,22	0,33	0,47	0,60	Taux ordinaires		8.180		98	0,27	environ 60					
	I. 390	C. Id. inférieurs.	0,17	0,26	0,35	0,45	en majorant le temps			deservice de 30 ans.								
Ensemble pour caisses houillères de Prusse.	S. 99.730		"	"	"	"	"	"	"		"	2.507.714	14.544	0,56	environ 62			
	I. 88.531		"	"	"	"	"	"	"	"	3.541.310	26.397	0,45	environ 48				

TAB. N° 7.
Situation des caisses, avoir, recettes et dépenses, totaux et par membre en 1883.

NOMS des VEREINE.	NOMBRE des membres. — S. Stables I. Instables	SALAIRE ANNUEL MOYEN. ACTIF AU 31 DÉC. 1883. Fonds de réserve total et par membre stable.	RECETTES TOTALES ET PAR MEMBRE ACTIF.							DÉPENSES TOTALES ET PAR MEMBRE ACTIF.											EXCÉDANT TOTAL et par membre stable.	DÉFICIT TOTAL et par membre stable.
			Versements des membres.	Versements des exploitants.	Intérêts des capitaux et divers.	Total des recettes.	Traitement et médicaments.	Salaires de ménage.	Total pour maladies.	Pensions d'invalides.	Pensions de veuves.	Pensions d'orphelins.	Total pour pensions.	Frais pour écoles.	Secours d'entretien et extraordinaires.	Frais pour administration.	Total des dépenses.					
																		fr.	francs	francs		
Saarbrück . . .	S. 19.633	1.481	5.057.710	1.323.415	1.319.700	286.774	2.929.890	255.910	231.340	487.252	1.208.000	552.023	184.162	2.024.185	241.073	45.383	67.831	2.898.340	31.548	»		
	I. 5.320		257	53,04	52,90	11,14	118,29	10,25	9,92	19,52	43,41	22,12	7,30	77,91	9,66	1,82	2,72	116,15	1,60	»		
Wurmverein . . .	S. 3.455	919	400.715	195.535	194.868	17.386	407.789	33.744	34,88	68.573	133.624	132.645	32.438	298.707	4.765	2.839	10.248	393.716	14.072	»		
	I. 2.310		116	34,46	34,20	3,01	70,73	5,85	6,62	11,89	23,18	23,01	5,65	51,82	0,81	0,49	1,77	68,29	4,07	»		
Eschweiler . . .	S. 755	919	174.722	35.957	35.874	9.481	81.309	11.497	9,77	20.874	33.602	19.671	4.376	57.649	»	1.001	2.955	83.409	»	2.096		
	I. 395		231	31,20	31,19	8,24	70,70	10,00	8,52	18,15	29,23	17,10	3,80	50,13	»	0,87	2,57	72,53	»	2,78		
Essen	S. 14.146	1.012	1.964.161	956.616	941.240	87.342	1.985.198	177.657	160,77	344.034	634.650	378.452	271.922	1.285.024	101.445	25.456	41.924	1.807.817	177.381	»		
	I. 15.600		138	32,16	31,64	2,94	66,75	5,97	5,32	11,56	21,33	12,72	9,14	43,19	3,41	0,85	1,41	60,84	12,54	»		
Marche	S. 31.603	1.012	2.362.556	2.116.204	2.165.681	79.969	4.361.854	582.261	457,08	1.030.261	1.418.926	738.301	700.431	857.658	»	62.359	87.009	4.068.114	293.739	»		
	I. 33.376		75	32,56	33,32	1,23	66,97	8,88	7,74	15,91	21,83	11,36	10,77	43,96	»	0,90	1,34	62,60	9,30	»		
Mülheim	S. 1.228	1.012	149.866	95.796	99.571	7.552	202.919	16.282	16,52	32.815	67.948	38.840	31.460	138.248	»	3.233	11.556	187.474	15.444	»		
	I. 4.427		122	36,00	37,10	2,84	76,43	6,15	6,12	12,35	25,60	14,63	11,85	52,08	»	1,21	4,35	70,61	12,57	»		
Ibbenbüren . . .	S. 472	1.012	116.131	26.315	27.012	4.700	58.026	4.298	8,32	12.540	21.809	12.181	8.742	42.732	3.097	1.580	2.032	65.479	»	6.452		
	I. 108		240	45,00	46,57	1,51	107,00	7,41	14,42	21,62	37,60	21,00	15,01	73,61	5,34	2,73	3,50	112,88	»	13,48		
Silésie Haute . . .	S. 20.614	750	4.833.214	1.326.572	1.215.842	165.620	2.708.034	368.475	255,62	604.300	879.484	429.789	154.133	1.463.406	70.276	77.275	90.075	2.435.550	272.484	»		
	I. 22.154		234	30,60	28,42	3,87	63,18	8,61	5,52	14,12	20,56	10,05	3,60	34,21	1,64	1,87	2,10	56,95	13,22	»		
Silésie Basse . . .	S. 7.335	750	1.315.366	405.194	312.829	61.493	779.516	119.075	122,82	241.923	225.366	197.630	49.556	472.552	»	14.356	33.606	756.250	23.266	»		
	I. 7.449		179	27,40	21,16	4,15	52,71	8,05	8,32	16,66	15,24	13,37	3,35	31,96	»	0,97	2,26	51,15	3,17	»		
Pless	S. 489	750	47.075	19.994	14.542	2.487	37.023	5.660	7,52	8.717	13.841	8.180	2.672	24.693	1.245	870	705	38.388	»	1.365		
	I. 390		96	22,70	16,55	1,78	42,07	6,43	3,42	9,91	15,74	9,30	3,07	28,11	1,42	0,99	0,80	43,67	»	2,80		
Total pour les Vereine des houillères . . .	S. 99.730	950	16.421.516	6.501.598	6.327.156	722.804	13.551.558	1.574.859	1.285,42	2.860.289	4.637.251	2.507.713	1.434.846	8.579.810	421.901	234.352	347.941	12.734.437	827.939	10.918		
	I. 88.531		164	34,10	33,61	3,84	71,98	8,30	6,12	15,19	24,63	13,32	7,62	45,57	2,24	1,24	1,85	67,65	817.024	8,19		
Total pour les Vereine de Prusse	S. 171.637	975	24.870.778	9.348.461	8.615.557	1.490.116	19.470.845	2.817.592	2.000,42	11.818.008	5.964.741	3.544.310	1.744.780	11.250.831	459.610	381.016	575.230	17.944.935	1.525.888	»		
	I. 136.646		145	30,00	27,90	4,83	63,16	9,14	6,62	15,62	19,34	11,48	5,66	35,48	1,49	1,23	1,86	58,29	8,89	»		

TABLEAU N° 8.

Renseignements sur le personnel des caisses.

	PRÉSENTS le 1 ^{er} janvier 1883.	ENTRÉS en 1883.	SORTIS en congé.	SORTIS définitivement.	DEVENUS invalides pensionnés.	MEMBRES PRÉSENTS AU 1 ^{er} JANVIER 1883.					dont par accident.	Total.	MEMBRES PRÉSENTS AU 31 DÉCEMBRE 1883.						OBSERVATIONS.			
						Au-dessous de 16 ans.	De 16 à 25 ans.	De 26 à 35 ans.	De 36 à 45 ans.	De 46 à 55 ans.			Au-dessous de 16 ans.	De 16 à 25 ans.	De 26 à 35 ans.	De 36 à 45 ans.	De 46 à 55 ans.	De 56 ans et plus.		Total.		
Membres stables . . .	168.831	21.065	1.242	8.811	2.616	2	197	501	370	402	1.497	387	1.884	653	34.814	64.943	47.955	21.078	5.920	175.363	Augmentation du nombre, 6.512 Id. en p. 100, 3,7p.100	
Membres instables . .	134.846	36.755	»	25.329	275	»	»	»	»	»	1.062	279	1.341	»	»	»	»	»	»	144.656	Id. du nombre, 9.810 Id. en p. 100, 7,3p.100	
Total	303.697	57.820	1.242	34.140	2.891	»	»	»	»	»	2.559	666	3.225	»	»	»	»	»	»	320.019	Augmentation du nombre, 16.322 Id. en p. 100, 5,3p.100	
Invalides pensionnés.	21.697	3.027	»	369	»	401			205	416	»	»	1.759	1.580			3.297	6.803	10.734	22.414	Augmentation du nombre, 717 Id. en p. 100, 3,3p.100	
Veuves pensionnées.	25.077	2.841	remariées 593	18	»	»	»	»	»	»	»	»	910	2.749			5.327	7.295	10.246	26.397	Augmentation du nombre, 1.320 Id. en p. 100, 5,3p.100	
Orphelins secourus. .	42.629	8.177	»	6.047	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	44.759	Augmentation du nombre, 2.130 Id. en p. 100, 5p.100	
Mouvement des ma- lades.	5.892	Malades entrés pour maladie pour accident		138.061	30.939	161.235	»	»	»	»	»	»	3.001	morts	»	»	»	»	»	»	6.339	Nombre des jours de ma- ladie avec salaire, 2.018.726 Nombre des jours par cas de maladie, 16,3 Nombre moyen de malades en p. 100 des membres, 2,1p.100

NOTA. — Les nombres de membres présents donnés dans les autres tableaux sont les nombres moyens pour l'année 1883.

EXTRAIT DES NOUVEAUX STATUTS DE LA WURM-KNAPPSCHAFT

CONFIRMÉS LE 19 JANVIER 1885

§ 3. Les membres se divisent en :

A. Payants . . . { a. Instables (*unstündig*).
 b. Stables (*ständig*).

B. Pensionnés.

Les payants se divisent en cinq classes ; la division repose essentiellement sur le taux du salaire.

I^{re} classe. Employés avec plus de 112^f,50 (90 marcs) par mois.

II^e à IV^e classe. Ouvriers principaux et divers ouvriers avec plus de 3^f,25 (2^{marcs},60) jusqu'à plus de 1^f,50 (1^{marc},20). (Voir le détail p. 109.)

V^e classe. Jeunes ouvriers de moins de 16 ans.

§ 4. Membres temporaires ou instables sont tous ouvriers des deux sexes occupés d'une manière durable dans les exploitations.

§ 6. Conditions pour devenir stable, hommes seulement :

Pas moins de 18 ans, pas plus de 40 ;

Une année de présence ininterrompue comme instable ;

Droits civiques ;

Preuve de bonne santé et constitution.

§ 7. Les instables deviennent stables après trois ans de participation continue.

§ 12. Après l'âge de 30 ans il faut payer des suppléments pour être admis stables, savoir :

Au-dessous de 35 ans, 50 p. 100 des contributions, depuis 30 ans jusqu'à l'admission ;

Au-dessus de 35 ans, 100 p. 100 des mêmes.

§ 14. Les droits acquis peuvent être conservés même après sortie de la mine (ou du travail) en payant les contributions tant de l'ouvrier que de l'exploitant directement à la caisse (§ 21). En cas de manque de travail notoire, la direction peut accorder des facilités (même §). L'ouvrier malade doit sa contribution personnelle.

§ 15. On ne rembourse jamais les contributions.

Contributions. — § 16. Contributions des membres :

4 p. 100 du salaire mensuel normal, c'est-à-dire vingt-cinq fois le salaire journalier normal, lequel est fixé pour toutes les classes chaque année par la direction. (Voir cette fixation plus loin, p. 431.)

La direction peut, en cas de besoin, augmenter les contributions de 20 p. 100 lors de l'établissement du budget. (Cela porterait donc à 4,8 p. 100.)

§ 17. Droit d'entrée :

Instables, 0^f,625 (50 pfennig) ;

Stables, 2^f,50 (2 marcs).

§ 18. Contribution des exploitants :

Jusqu'à la mise en vigueur de la loi sur les accidents, 100 p. 100 des versements des membres ; à partir de cette époque 75 p. 100 ; mais ils ont à porter en cas d'accident, de la cinquième à la fin de la treizième semaine de l'incapacité du travail, le surplus d'allocations prévu par la loi des accidents et toutes les allocations prévues par cette loi à partir de la treizième semaine.

§ 21. Les membres peuvent conserver leurs droits tout en quittant le travail de la mine (ou de l'établissement) en continuant à payer leurs contributions et la part des exploitants.

§ 23. Maintien des droits des membres pendant le service militaire sans paiement de contributions.

Allocations. — §§ 24, 25. Tous les membres reçoivent les soins médicaux gratuits, un salaire de maladie et un secours d'enterrement.

Les stables reçoivent toujours, les instables seulement en cas d'accident, une pension d'invalidité.

Il en est de même pour la pension aux veuves et le secours aux enfants.

§ 26. Les allocations, payées sur base de la loi des accidents, sont décomptées sur celles de la caisse minière, celle-ci n'entrant que pour la différence s'il y a lieu.

§ 35. Lunettes, bandages herniaires, etc., payés par le *Verein*, également les cures spéciales.

§ 36. Invalides malades, renonçant pendant ce temps à pension peuvent être reçus à l'hôpital du *Verein*.

§ 40. Les membres instables ont droit à traitement et aux médicaments pendant treize semaines au moins (C'est vague!).

Salaire de maladie. — § 41. A partir du quatrième jour, 50 p. 100 du salaire journalier normal de la classe (voir p. 109).

§ 42. Si le membre touche quelque chose parce qu'il est assuré ailleurs, il ne touche le salaire de maladie de la caisse qu'autant que l'ensemble ne dépasse pas le salaire journalier normal.

§ 43. Accidents. Blessés à partir du commencement de la cinquième semaine (§ 5 de la loi sur les accidents) jusqu'à la fin de la treizième, salaire de maladie, 66,66 p. 100 du salaire journalier normal. (Les 16,66 p. 100 en plus des 50 p. 100 payés par la caisse sont, d'après la loi sur les accidents, à rembourser par l'exploitant.)

§ 44. Durée du salaire. En règle, jusqu'à la fin de la treizième semaine.

§ 45. Si la guérison est prévue dans six mois, la durée du salaire de maladie peut être prolongée exceptionnellement jusque là.

§ 46. Moitié du salaire pour la famille si le malade est traité à l'hôpital.

§ 49. Secours d'enterrement. Vingt fois le salaire journalier normal de la classe du membre, en cas d'accident vingt fois le gain journalier moyen de la victime.

Pour les invalides, vingt fois le salaire qui a servi de base à la pension.

Pensions. — Pensions d'invalides (appelées à tort dans le titre « *Alttersversorgung* » retraite d'âge).

§ 50 et suivants. Au delà du temps prévu pour le salaire de maladie, on accorde une pension d'invalidé fixée d'après le temps de service et la classe de l'invalidé; le temps de service est le temps de participation au *Verein* comme membre stable ou à un autre *Verein* en relations réciproques avec lui.

§ 53. Le temps de service militaire compte comme temps de service.

§ 54. *Pensions d'invalidé*. Jusqu'à dix ans de service, 1/6 du salaire normal mensuel de la classe; pour chaque année 1/80 en plus et jusqu'à 2/3 comme maximum.

§ 55. On *déduit*, de la pension à payer, le montant des pensions militaires.

§ 56. Demi-pension pour demi-invalides.

§ 57. Réduction à moitié des pensions si l'invalidé a un revenu supérieur à la pension prévue provenant d'un emploi qu'il occupe.

§ 59. *Pensions de veuves*. Moitié de la pension du membre, suppression en cas de mariage nouveau, mais dot d'une année de pension et au moins 187^f,50 (150 marcs.).

§ 62. *Secours d'orphelins*. Jusqu'à quinze ans, 1/15 du salaire normal mensuel du membre par chaque enfant; toutefois, l'ensemble de la pension de la veuve et des secours d'orphelins ne doit pas dépasser 60 p. 100 du salaire normal mensuel. (Donc s'il atteint cela, il en résulte en somme que la famille reçoit 60 p. 100 lorsque le membre lui-même avec sa famille ne reçoit jusqu'à dix ans de service que 1/6 ou 16,66 p. 100.)

§ 63. *Secours d'orphelins* doublé si la mère est morte.

Cas d'accidents. — § 66. Il est accordé aux victimes les allocations prévues par la loi sur les accidents.

a. *Blessures*. — 1° Invalidité complète, à partir de la quatorzième semaine 66 p. 100 du *gain du travail*.

2° Invalidité partielle, fraction des 66 p. 100 à établir d'après le degré d'incapacité de travail.

b. *Mort*. — 1° Pension de veuve 20 p. 100 du *gain du travail*.

2° Orphelins jusqu'à quinze ans 15 p. 100, si orphelins de mère 20 p. 100 du *gain du travail*.

3° Veuve et orphelins ensemble ne peuvent dépasser 60 p. 100.

4° Ascendants, 20 p. 100 si la victime était seul soutien et autant seulement que veuves et orphelins n'atteignent pas 60 p. 100.

Le gain de travail servant de base est le gain de la dernière année, en ne comptant que pour 1/3 ce qui dépasse 5 francs (4 marcs) par jour.

§ 67. Les droits des victimes des accidents ou de leurs familles vis-à-vis du *verein* restent intacts quant au reste (§ 26). (Cela veut dire que le *Verein* ne leur donne quelque chose que si ses allocations dépassent celles résultant de la loi sur les accidents.)

Administration du verein. Comptabilité. — (Pareille à celle des caisses en général).

§ 119. Formation d'un *fonds de réserve convenable (angemessen)* qui doit atteindre avec le temps au moins 187^f,50 (150 marcs) par membre stable.

§ 124. Les comptes doivent être divisés en :

- 1° Recettes et dépenses pour l'assurance des malades;
- 2° Recettes et dépenses pour invalides, veuves et orphelins;
- 3° Recettes et dépenses pour l'assurance des accidents.

(On portera comme recettes pour l'assurance des malades la somme nécessaire, c'est-à-dire qui aura été dépensée dans l'année, et si l'on reconnaît que les versements ne suffisent pas, on les augmentera de 20 p. 100.)

§ 129. Réciprocité avec d'autres *Knappschaftsvereine*. Libre passage de l'un à l'autre, avec l'âge de service acquis (il ne s'agit que des membres stables), avec nouveau certificat de bonne santé et constitution.

§ 134. L'assemblée générale, qui prononce des modifications de statuts, détermine si des changements aux allocations auront un effet rétroactif. Des réductions pour les allocations déjà accordées ne peuvent les abaisser en dessous de celles stipulées pour les membres actifs.

§ 110. Statut en vigueur à partir du 1^{er} janvier 1885, sans effet rétroactif; les allocations accordées aux invalides veuves et orphelins antérieurement ne seront *provisoirement pas changées*.

Tableaux des salaires normaux

(pour l'année 1885).

I ^{re} Classe. Employés à plus de 112 ^f ,50 (90 marcs) par mois :	
Salaire journalier normal.	5 ^f ,00 (4 ^m)
II ^e Classe. Piqueurs en chef, maîtres et chefs ouvriers de toute sorte avec un gain journalier de plus de 3 ^f ,25 (2 ^m ,60) :	
Salaire journalier moyen.	3 ^f ,50 (2 ^m ,80)
III ^e Classe. Piqueurs, apprentis piqueurs et aides et ouvriers du jour qui ont au moins 2 ^f ,50 (2 marcs) par jour :	
a. Avec gain journalier de plus de 3 francs (2 ^m ,40) : Salaire journalier normal.	3 ^f ,25 (2 ^m ,60)
b. Avec gain journalier de plus de 2 ^f ,50 (2marks) : Salaire journalier normal.	2 ^f ,75 (2 ^m ,20)
IV ^e Classe. Rouleurs et apprentis, journaliers avec moins de 2 ^f ,50 (2 marcs) par jour, et femmes :	
a. Avec gain journalier de plus de 2 francs (1 ^m ,60) : Salaire journalier normal.	2 ^f ,25 (1 ^m ,80)
b. Avec gain journalier de plus de 1 ^f ,50 (1 ^m ,20) : Salaire journalier normal.	1 ^f ,75 (1 ^m ,40)
V ^e Classe. Jeunes ouvriers au-dessous de seize ans :	
Salaire journalier normal.	1 ^f ,25 (1 ^m)

Cotisations (Conformément au § 16).

I ^{re} Classe.	par mois	5 ^f ,00 (4 ^m)
II ^e Classe.	—	3 ^f ,50 (2 ^m ,80)
III ^e Classe. {	a.	— 3 ^f ,25 (2 ^m ,60)
	b.	— 2 ^f ,75 (2 ^m ,20)

432 ÉTUDE SUR LES INSTITUTIONS DE PRÉVOYANCE.

IV ^e Classe.	{	a.	—	2 ^f ,25 (1 ^m ,80)
		b.	—	1 ^f ,75 (1 ^m ,40)
V ^e Classe.		. . . . .	—	1 ^f ,25 (1 ^m)

Salaires de malades (Conformément au § 41).

I ^{re} Classe.			par jour	2 ^f ,50 (2 ^m)
II ^e Classe.			—	1 ^f ,75 (1 ^m ,40)
III ^e Classe.	{	a.	—	1 ^f ,625 (1 ^m ,30)
		b.	—	1 ^f ,375 (1 ^m ,40)
IV ^e Classe.	{	a.	—	1 ^f ,125 (0 ^m ,90)
		b.	—	0 ^f ,875 (0 ^m ,70)
V ^e Classe.			—	0 ^f ,625 (0 ^m ,50)

ANALYSE
DES RAPPORTS OFFICIELS
SUR LES ACCIDENTS DE GRISOU
SURVENUS EN FRANCE
PENDANT LES ANNÉES 1882 ET 1883

Dressée par M. JANET, ingénieur au corps des mines.

On sait que MM. Petitdidier et Lallemand, ingénieurs au corps des mines, ont été chargés par la Commission d'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou, de dresser une statistique méthodique des accidents causés en France par ce gaz. Les cinq premiers fascicules de leur travail, qui s'étend de l'année 1817 à l'année 1880, ont déjà été publiés (*).

D'autre part, la Commission des *Annales des mines* a désiré que ce travail fût continué d'année en année, conformément au plan primitivement adopté. La statistique relative à l'année 1881 a été faite par M. Chesneau, ingénieur au corps des mines (**).

Diverses causes, qu'il est inutile d'énumérer, ayant retardé la publication de la statistique relative à l'année 1882, j'ai été chargé de préparer un travail d'ensemble pour les années 1882 et 1883; les résultats en sont consignés aux tableaux qui vont suivre.

(*) Voir *Annales des mines*, 1^{er} vol. de 1882, p. 293; 2^e vol. de 1882, p. 393; 2^e vol. de 1883, p. 67; 2^e vol. de 1884, p. 73, et 2^e vol. de 1885, p. 195.

(**) Voir *Annales des mines*, 2^e vol. de 1883, p. 215.

B. plus 800
= 85-86

pour 1882

BASSIN DE VALENCIENNES.

1. — Concession

(Instituée par ordonnance

et 1883.

a. — Département du Nord.

d'Anzin.

du 3 décembre 1754).

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23 Août 1882.	Fosse Hérin.	»	3 Brûlés grièvement.	6872	1.443.096 Tonnes.	Accumulation de grisou dans une cheminée montante.	Flamme d'un coup de mine qui s'est débouffé.	Cause fortuite.
2	21 Février 1883.	Fosse Turenne.	8 Brûlés.	2 Brûlés.	6910	1.421.187 Tonnes.	Dégagement subit de grisou, à la faveur de la fissuration produite par un coup de mine.	Explosion d'un coup de mine.	Cause fortuite.

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage, très satisfaisant dans son ensemble, se faisait par un ventilateur Guibal, établi sur un puits spécial de retour d'air, de 3 mètres de diamètre. — Le ventilateur de 3 mètres de diamètre était mis en mouvement par une machine à vapeur de 30 chevaux, à la vitesse de 65 tours à la minute. — La dépression produite était de 70 mm. d'eau et le volume total extrait de 35 mc. La fosse d'Hérin a toujours été regardée comme une des plus grisouteuses de la région.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient occupés à agrandir une voie de fond au niveau de 330^m afin d'y placer une porte d'aérage. — Un trou de mine de 0^m20 de profondeur avait été foré au toit. — Vers 6 heures du soir, le tireur de mines étant arrivé, alluma la mèche après s'être assuré par une inspection minutieuse qu'il n'y avait pas de grisou et se retira avec les deux mineurs dans le haut d'une cheminée montante débouchant à 18^m de distance. Quelques minutes après, la mine fit explosion en se débouffant sans disloquer la roche et à ce moment même l'inflammation du grisou se produisit. Les trois ouvriers furent environnés de flammes et grièvement brûlés.

Remarques particulières. — Il paraît probable que l'inflammation du grisou, très peu intense près du coup de mine à cause de la faible proportion du gaz inflammable, s'est propagée jusqu'au sommet de la cheminée où il s'en était accumulé une certaine quantité.

Indications générales. — La fosse Turenne passant pour une des plus dangereuses du département du Nord, on y prenait toutes les précautions d'usage dans les mines grisouteuses, par exemple : emploi exclusif de lampes de sûreté (du type Davy), et interdiction des coups de mine pendant la coupe à charbon. Pendant la coupe à terre, l'allumage était confié à un boute-feu spécial qui devait préalablement constater l'absence du grisou.

D'autre part l'aérage était largement organisé. L'air descendait par le puits Turenne, et ressortait par le puits Ernestine situé à l'Est du premier, sur lequel on avait monté un ventilateur de 3^m de diamètre, faisant 55 à 60 tours à la minute, donnant une dépression de 55 à 60^{mm} d'eau, et aspirant un volume d'air de 27 à 28 mc.

Circonstances de l'accident. — L'accident s'est produit au niveau de 466^m pendant la coupe à terre ; les circonstances en ont été assez difficiles à reconstituer complètement à cause du peu d'explications qu'on a pu obtenir des victimes. Deux ouvriers occupés au percement d'une voie de fond avaient préparé un coup de mine en couronne pour abattre le toit de la veine formé de schistes. Le boute-feu vint mettre le feu à la mèche, puis tous trois se retirèrent à 50 mètres de distance. C'est là qu'ils furent tués par le coup de grisou qui accompagna l'explosion de la mine. Sept ouvriers travaillant dans le voisinage furent également atteints, trois d'entre eux furent tués sur le coup, deux succombèrent aux suites de leurs brûlures.

Remarques particulières. — Les effets mécaniques n'ont pas été très intenses ; cependant plusieurs petits éboulements partiels se sont produits sans qu'aucune galerie fût néanmoins obstruée. Deux ouvriers travaillant à 300^m de distance ont senti un fort courant d'air, ont été culbutés et ont eu leurs lampes éteintes.

Il est vraisemblable que le boute-feu avait pris les précautions nécessaires avant l'allumage ; d'autre part toutes les lampes de sûreté ont été retrouvées intactes. On est donc conduit à admettre, que, par suite du coup de mine, il y a eu mise en liberté de gaz accumulé sous forte pression, qui a pris feu et fait explosion.

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	26 Septembre 1883.	Fosse Villars.	1	1	6910	1.424.187 Tonnes.	Petit soufflard au toit d'une galerie.	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime, qui circulait dans la mine avec une lampe à feu nu.

2. — Concession
(Instituée par ordonnance)

4	26 Août 1882.	Fosse St-Matthieu.	1	1	796	218.029 Tonnes	Petite accumulation de grisou dans les parties anguleuses d'une taille.	Inflammation des poussières charbonneuses qui adhèrent au tamis d'une lampe de sûreté.	Cause fortuite.
---	---------------	--------------------	---	---	-----	----------------	---	--	-----------------

OBSERVATIONS.	
11	
<p>Indications générales. — L'aérage de la fosse Villars, commun avec celui des fosses l'Enclos et Orléans, était assuré par un ventilateur Lemielle aspirant 20 m. c. à la seconde. Il était satisfaisant.</p> <p>Circonstances de l'accident. — L'ouvrier chargé de la visite et de l'entretien des appareils d'épuisement de la fosse, était muni d'une lampe à feu nu, qui lui servait dans la visite du puits, et d'une lampe Davy qu'il devait seule conserver allumée lorsqu'il passait dans la mine. La soirée du 26 septembre, ayant terminé sa visite, il regagnait l'accrochage de la fosse l'Enclos, lorsqu'il fut atteint par une flambée de grisou qui le brûla assez grièvement.</p> <p>Remarques particulières. — Il est probable que l'ouvrier avait négligé d'éteindre la lampe à feu nu qu'il portait à sa barrette, en sortant du puits Villars, et c'est cette lampe qui a allumé un petit nid de grisou, formé au toit de la galerie par un soufflard dont on a pu encore constater l'existence après l'accident.</p>	

de Douchy.
du 12 Février 1882.

Indications générales. — Les travaux étaient aérés au moyen d'un foyer établi sur la fosse Ste-Barbe servant de puits spécial de retour d'air. Le volume d'air sortant par ce puits était d'environ 43 m. c.

Circonstances de l'accident. — Quatre ouvriers travaillaient de nuit dans une taille de la veine Magenta : l'un d'eux, après avoir déjeuné, vint reprendre son travail ; mais en accrochant sa lampe de sûreté au montant d'un cadre, il détermina une inflammation de grisou qui le brûla assez grièvement. Les trois autres ouvriers ne furent pas atteints, bien que placés à une très faible distance.

Remarques particulières. — La lampe de sûreté qui a enflammé le grisou a été retrouvée en bon état ; on peut expliquer l'accident, en admettant que le treillis métallique était sali par les poussières fines que la veine Magenta donne abondamment à l'abatage, et que la lampe ayant été inclinée brusquement, la flamme a atteint ces poussières et, par leur combustion, communiqué le feu à l'extérieur.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été prescrit à la Compagnie d'améliorer la répartition du courant d'air dans les divers travaux de la fosse St-Matthieu.

1 Nos d'ordre	2 DATE de l'accident.	3 LIEU de l'accident.	4 NOMBRE d'ouvriers		6 OUVRIERS an fond.	7 PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT			11 OBSERVATIONS.
			4 Tués.	5 Blessés.			8 Causes directes		10 Causes indirectes.	
							8 de l'accumulation du gaz.	9 de l'inflammation du gaz.		
5	26 Février 1883.	Fosse Beauvais.	1	1	838	243.342 Tonnes.	»	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence de la victime, qui ouvrit sa lampe de sûreté.	Indications générales. — L'aérage général était satisfaisant, et l'on prenait toutes les précautions en usage dans les mines grisouteuses. Circonstances de l'accident. — Un ouvrier était occupé en qualité de herscheur à terre au remblayage d'une taille au niveau de 543 ^m . Ayant ouvert sa lampe, il détermina l'inflammation d'un peu de grisou amassé dans la galerie et fut légèrement brûlé. Il continua cependant à travailler jusqu'à la fin de la journée, après avoir rallumé sa lampe qui s'était éteinte, avec l'aide d'un de ses camarades qui ouvrit la sienne pour lui donner du feu. Remarques particulières. — L'accident n'a été connu de la direction que 3 jours après, l'ouvrier ayant intérêt à le cacher, pour éviter les poursuites judiciaires dont son imprudence le rendait passible. Aucune trace de gaz n'a pu être constatée pendant l'enquête, sur le théâtre de l'accident. Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été prescrit à la Compagnie d'améliorer le système de fermeture de ses lampes de sûreté.
6	13 Avril 1883.	Fosse l'Eclair.	4	3	858	243.342 Tonnes.	»	Explosion d'un coup de mine.	Cause fortuite.	Indications générales. — L'aérage était suffisant. Les ouvriers étaient munis de lampes à tube de verre, surmonté d'un treillis métallique (analogues au type Boty); les boute-feux avaient des lampes à treillis métallique (type Davy) se prêtant mieux à la recherche du grisou. Circonstances de l'accident. — L'accident s'est produit le 13 avril, dans une des tailles de la veine Adélaïde. Des six ouvriers de la taille, quatre avaient travaillé au poste du matin, sans remarquer rien d'anormal, et le porion visitant le chantier à onze heures du matin n'avait pas trouvé de grisou; ils préparèrent un coup de mine dans un banc de grès, situé au-dessous de la veine, et quittèrent leur travail. Les deux ouvriers de la coupe du soir chargèrent ce coup de mine, et le bourrèrent avec soin. A 4 heures 1/2 le boute-feu l'alluma après avoir préalablement constaté l'absence du grisou, puis tous trois allèrent se garer à 30 mètres de là. Il se produisit alors une explosion qui atteignit les trois ouvriers ainsi que quatre autres travaillant dans le voisinage. Quatre d'entre eux moururent des suites de leurs brûlures. Remarques particulières. — Le grisou paraît n'avoir joué qu'un rôle accessoire dans cet accident: sa gravité est due à l'inflammation des poussières. D'après la déclaration des blessés, la flamme était rouge et ne ressemblait pas à celle du grisou, que plusieurs d'entre eux avaient déjà eu occasion de voir. Les boisages se sont trouvés recouverts d'une couche de coke de 1 à 2 centimètres. Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été recommandé aux ouvriers de balayer et d'arroser avant le tirage des coups de mine.

BASSIN DE VALENCIENNES — Département du Nord.

3. — Concession de l'Escarpelle. &

(Instituée par décret du 27 Novembre 1850.)

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		Ouvriers au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
4	2	3	4	5	6	7	de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	40
7	31 Août 1882.	Fosse Laforest.	2	2	4201	387.356 Tonnes.	Allumage d'un coup de mine.	Imprudence, victimes, qui mis le feu à coup de mèche sans appeler le bout-feu et spécialement l'allumage.	
<p>Indications générales. — L'aérage des travaux de la fosse Laforest était produit par un ventilateur Lemielle, mû par une machine de 12 chevaux, qui aspirait l'air par un goyau réservé dans le puits d'extraction lui-même. Le volume entraîné par seconde était de 4 m. c. 73.</p> <p>Circonstances de l'accident. — L'accident est survenu dans le creusement d'un plan incliné, établi entre les étages 340^m et 300^m, dans la veine du Nord N^o 1. La communication entre les deux étages venait d'être ouverte, et il ne restait plus qu'à régulariser la voie. Les deux mineurs qui y étaient occupés, après avoir fait un havage au mur, creusèrent un trou de mine au toit, le chargèrent de poudre et y mirent le feu. C'est alors que se produisit l'inflammation de grisou, qui les brûla assez grièvement.</p> <p>Remarques particulières. — Le grisou s'étant montré en grande abondance pendant le percement du plan incliné, l'emploi de la poudre avait été complètement prohibé. D'autre part il était interdit à tous les mineurs de la fosse, de mettre eux-mêmes le feu aux coups de mine, un ouvrier ayant été chargé spécialement des fonctions de bout-feu.</p> <p>Mesures prises à la suite de l'accident. — L'administration a invité la Compagnie à établir un puits de retour d'air, distinct du puits d'entrée. Elle lui a recommandé de faire des études sur la répartition du courant d'aérage entre les divers quartiers.</p>									
8	6 Août 1883.	Fosse N ^o 1.	1	1	4455	428.003 Tonnes.	Allumage d'un coup de mine.	Imprudence, la victime, qui pas pris les précautions nécessaires avant l'allumage de la mine.	
<p>Indications générales. — L'aérage de la fosse N^o 1 était assuré par un ventilateur Fabry de 2 mètres de largeur, animé d'une vitesse de 30 tours par minute, et pouvant aspirer de 9 à 10 m. c. d'air par seconde.</p> <p>Circonstances de l'accident. — Une mine avait été forée au toit de la veine Edouard, au fond d'une petite cloche produite par la chute de blocs précédemment détachés du toit. Le bout-feu vint allumer la mèche avec un morceau d'amadou. Elle brûlait depuis une minute, quand une inflammation de grisou se produisit et atteignit assez grièvement l'ouvrier. Celui-ci put cependant encore faire quelques pas pour se garer de l'explosion de la mine qui eut lieu quelques instants après.</p> <p>Remarques particulières. — Il est probable que le bout-feu n'ayant pas examiné assez soigneusement le chantier, il se trouvait une petite quantité de grisou dans la poche même où était la mine.</p>									

BASSIN DE VALENCIENNES. — Département du Pas-de-Calais.

1. — Concessions de Liévin.

(Instituée par décret du 15 Septembre 1862).

N ^o s d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		CAUSE indirecte.	OBSERVATIONS.
			Tués.	Blessés.			Causes directes			
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	13 Avril 1882.	Fosse N ^o 3.	8	1	4301	432.635 Tonnes.		Flamme d'un coup de mine.	Cause directe.	Indications générales. — L'aérage était très satisfaisant. Le grisou ne s'était jamais montré qu'en faible quantité. On employait des lampes Boty. Circonstances de l'accident. — L'explosion s'est produite à 2 heures du matin. La visite du chantier avait été faite par le chef porion à 6 heures du soir, et par le porion du matin à 11 heures, sans que rien d'anormal fut signalé. C'est probablement la flamme d'un coup de mine qui a occasionné l'accident. Six ouvriers ont été relevés morts et trois blessés: deux de ceux-ci ont succombé; le troisième est devenu fou. Remarques particulières. — L'explosion s'est produite au voisinage d'une faille et d'un puits qui ont pu donner passage à des gaz accumulés à un niveau inférieur. Les poussières paraissent avoir joué un certain rôle. D'une part on a observé d'abondants dépôts de coke sur les boisages voisins du lieu de l'accident, de l'autre les brûlures des victimes ne présentaient pas tous les caractères habituels des brûlures de grisou.
10	12 Février 1883.	Fosse N ^o 5.	2	3	4384	452.777 Tonnes.	Baisse barométrique. Chômage du dimanche.	Explosion d'un coup de mine.	Cause indirecte.	Indications générales. — L'aérage de la fosse n ^o 5 était des plus satisfaisants; l'aspiration se faisait par un ventilateur Guibal de 9 m. de diamètre coiffant un puits spécial de retour d'air. Le débit était de 25 m. c. par seconde. On se servait partout de lampes Mueseler. Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers avaient été chargés de réparer les éboulements qui s'étaient produits dans la voie de fond de la veine François, au niveau de 430 ^m . Dans ce but, ils avaient percé un trou de mine de 0 ^m 40 dans un bloc de schiste. Le boute-feu plaça dans la mine quatre cartouches, y mit le feu, et se retira avec les deux mineurs auprès de deux autres ouvriers qui travaillaient dans le voisinage. Lorsque la mine fit explosion, il se produisit une inflammation de grisou qui brûla les cinq ouvriers. Deux succombèrent quelque temps après aux suites de leurs blessures. Remarques particulières. — L'aérage, comme nous l'avons dit, était excellent, mais au moment de l'accident, la pression barométrique était seulement de 753 mill., et les travaux avaient chômé la veille, qui était un dimanche, circonstances favorables à l'accumulation du grisou. On a voulu mettre en cause la négligence du boute-feu, qui prétend cependant avoir constaté dans tous les coins l'absence du grisou. Il n'est pas impossible que le gaz fût surtout accumulé dans l'éboulement et se soit dégagé au moment de l'explosion du coup de mine.

N ^o s d'ordre.	DATE de l'accident.	Lieu de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							8	9		10
1	2	2	4	3	6	7	8	9	10
11	16 Avril 1883.	Fosse N ^{os} 4-5.	7	3	1381	452.777	Excavation servant à loger une machine qui actionnait un plan incliné.	Flamme sortant du tamis d'une lampe de sûreté.	Imprudence d'une des victimes, qui, pour l'intérieur de la lampe de sûreté, a soufflé pour l'éclaircir.

2. — Concessions

(Instituée par décret

12	30 décembre 1882.	Fosse N ^o 2.	1	Brûlé légèrement.	938	179.507	Dégagement de grisou à la faveur de la fissuration produite par un coup de mine.	Explosion d'un coup de mine.	Cause indirecte.
----	-------------------	-------------------------	---	-------------------	-----	---------	--	------------------------------	------------------

B. — Département du Pas-de-Calais.

de Liévin (suite).

1. — Concessions

OBSERVATIONS.	
11	
<p>Indications générales. — L'aérage général était satisfaisant. Le puits n^o 1 est muni d'un ventilateur Guibal, de 9 m. de diamètre sur 2^m50 de large, faisant de 50 à 55 tours par minute.</p> <p>Circonstances de l'accident. — L'accident s'est produit dans la fosse 4-5, à l'étage 420 m. de la veine Edouard. Cette veine, d'une puissance de 2 m., était exploitée en vallée au-dessous de la voie de fond. Les charbons étaient montés sur un plan incliné de 90 m., actionné par une machine à air comprimé, installée dans une excavation à 2 m. environ au-dessus du sol de la galerie. Depuis l'installation de la machine, on n'avait jamais vu de grisou en ce point.</p> <p>Le 16 Avril au soir, le machiniste, un jeune homme de 17 ans, vit du grisou brûler dans sa lampe Davy et commit la sottise de souffler dessus pour l'éteindre. Il fut aussitôt entouré de flammes. Dix ouvriers occupés dans le voisinage furent atteints; sept succombèrent aux suites de leurs brûlures. Cinq autres ouvriers travaillant à 200 m. furent asphyxiés par le mauvais air, résultant de l'explosion, mais on put les retirer en temps utile, et dès le lendemain ils avaient repris leur travail.</p> <p>Remarques particulières. — Les effets mécaniques de l'explosion ont été insignifiants. Dans l'après-midi du jour de l'accident, on a constaté la présence d'une assez grande quantité de grisou dans la cloche.</p> <p>Mesures prises à la suite de l'accident. — La Compagnie a été invitée à donner issue, par une galerie montante ou par un simple tuyau débouchant à un niveau supérieur, au grisou qui tend à s'accumuler dans la chambre de la machine et à remplacer les lampes Davy par d'autres (par exemple type Mueseler) se prêtant moins à la sortie de la flamme sous l'influence des courants d'air.</p>	

de Ferfay.

du 29 Décembre 1855.)

Indications générales. — L'aérage se faisait par un ventilateur Guibal : il a été reconnu insuffisant, en égard au nombre d'ouvriers employés.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers prenaient au toit de la veine St-Joseph une bande de 0^m70 pour le coupage d'une voie. Ils étaient munis de lampes Davy. Ayant préparé et allumé un coup de mine, ils se retirèrent derrière une porte située à 7^m de distance. Lorsqu'ils eurent entendu la détonation, ils ouvrirent la porte, et c'est alors qu'ils furent atteints par un courant de gaz enflammé, qui brûla légèrement l'un d'eux.

Remarques particulières. — Quelques jours avant l'accident, une cloche d'éboulement s'était produite, immédiatement avant le point attaqué. On l'avait aussitôt réparée aussi soigneusement que possible. Il paraît probable que l'éboulement avait déterminé des crevasses où le grisou s'était accumulé et d'où il a été chassé par le coup de mine.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été prescrit à la Compagnie d'améliorer l'aérage de la fosse n^o 2.

BASSIN DE VALENCIENNES — Département du Pas-de-Calais.

2. — Concession de Ferfay (suite).

N ^o s d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT			
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.	
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
13	9 Juillet 1883.	Fosse N ^o 2.	»	2	900	187.453 Tonnes.	Cloche existant au toit d'une galerie,	Lampe de sûreté imparfaitement fermée.	Imprudence d'une des victimes qui n'a pas lié la fermeture de sa lampe sûreté.	

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — La fosse n^o 2 n'était desservie que par un seul puits. L'air descendant par le compartiment réservé aux cages, remontait par un goyau duquel partait une galerie conduisant l'air au ventilateur.

Circonstances de l'accident. — Le 9 Juillet, vers 7 heures du matin, deux ouvriers boiseurs faisaient leur tournée. L'un d'eux, arrivé à un endroit où avait eu lieu récemment un éboulement, éleva sa lampe de sûreté (type Davy à tube de verre), pour examiner les boisages. Aussitôt, il vit la flamme emplir la voie, et fut brûlé ainsi que son compagnon.

Remarques particulières. — Il est probable que le feu a d'abord pris à l'intérieur de la lampe et que la flamme en sera sortie grâce à cette circonstance que le tamis était incomplètement vissé.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été recommandé à la Compagnie d'activer le plus possible les travaux ayant pour objet d'établir une seconde communication de la fosse n^o 2 avec le jour.

3. — Concession de Courcelles-les-Lens.

(Instituée par décret du 18 Septembre 1877.)

14	24 Janvier 1883.	Veine N ^o 4.	1	3	131	25.126 Tonnes.	Dégagement subit de grisou à la faveur de la fissuration produite par un coup de mine.	Explosion d'un coup de mine, et emploi de lampes à feu nu.	Cause mortelle.
----	------------------	-------------------------	---	---	-----	----------------	--	--	-----------------

Indications générales. — L'aérage, assuré par un ventilateur Guibal de 7^m de diamètre et 1^m50 de largeur, était très largement suffisant, eu égard à la faible étendue des travaux.

On n'avait encore constaté aucune trace de grisou dans la veine n^o 4 et l'on se servait de lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — La veine n^o 4, d'une puissance de 0^m70, était exploitée entre les niveaux 390 et 340, dans un dressant presque vertical. Huit ouvriers étaient distribués dans 3 tailles à diverses hauteurs. Le 24 Janvier, à 2 heures de l'après-midi, on perça un trou de mine, au toit de la veine, et on mit le feu. L'explosion de la mine fut accompagnée d'un coup de grisou qui brûla 4 ouvriers dont 1 mortellement.

Remarques particulières. — Les poussières fournies en grande quantité par le charbon très sec, de la veine n^o 4, paraissent avoir joué ici un rôle important. Pourtant, eu égard à la distance de 40 mètres à laquelle l'inflammation s'est propagée, il est probable qu'elle a été facilitée par un dégagement de grisou, résultant de la désagrégation produite par le coup de mine.

Mesures prises à la suite de l'accident. — La direction a prescrit l'emploi de lampes de sûreté et a interdit le tirage à la poudre dans la veine n^o 4.

BASSIN DE SAINT-ETIENNE — Département de la Loire.

1. — Concession du Quartier-Gaillard.

(Instituée par ordonnance du 17 novembre 1824.)

Nos. d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT			
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.	
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	28 Janvier 1882.	Puits des Rosiers.	1	1	1027	214.298 Tonnes.	Petit dégagement de grisou dans une remonte en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	Cause forte	<p>Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers venaient d'arriver à leur poste à l'avancement d'une remonte. L'un d'eux accrocha sa lampe à feu nu à un cadre et alla chercher les outils, pendant que l'autre examinait l'état du toit du chantier. Une flambée de grisou se produisit alors et brûla si grièvement ce dernier ouvrier qu'il en mourut dix-huit heures après. L'autre fut atteint beaucoup plus légèrement.</p> <p>Remarques particulières. — La présence du grisou n'avait pas encore été constatée dans le quartier où s'est produit l'accident : c'est ce qui explique l'emploi de lampes à feu nu.</p> <p>Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été décidé que l'emploi exclusif des lampes de sûreté serait obligatoire pour tous les ouvriers, et que, le matin on ferait une visite des chantiers.</p>
2. — Concession de Beaubrun.										
(Instituée par ordonnance du 10 Août 1825).										
16	1 ^{er} Mars 1882.	Puits des Basses-Villes. — 3 ^{me} couche.	1	1	4194	339.745 Tonnes.		Lampe à feu nu.	Cause forte	<p>Indications générales. — La troisième couche exploitée n'étant pas grisouteuse, on y faisait usage de lampes à feu nu, mais à la fin de Février, un chantier de cette couche étant passé dans la deuxième, qui est parfois grisouteuse, par suite de la disparition de l'entre-deux, il avait été prescrit de faire chaque matin une visite du chantier avec une lampe de sûreté.</p> <p>Circonstances de l'accident. — La visite en question avait été faite à 3 h. 1/2 du matin et n'avait donné lieu à aucune constatation, mais à 6 h., à l'arrivée des piqueurs, l'un d'eux ayant élevé sa lampe à feu nu pour la fixer à un cadre, il se produisit une flambée de grisou qui le brûla légèrement.</p> <p>Remarques particulières. — Le dégagement du grisou s'est continué et le chantier en était plein, 4 jours après, lors de la visite du garde-mines.</p> <p>Mesures prises à la suite de l'accident. — L'emploi de lampes de sûreté a été rendu obligatoire pour tous les ouvriers.</p>
3. — Concession de Montrambert.										
(Instituée par ordonnance du 4 Novembre 1824).										
17	15 Mai 1882.	Puits Devillaine	2	2	850	279.214 Tonnes.	Chômage dans un chantier en remonte	Lampe à feu nu.	Cause forte	<p>Indications générales. — La présence du grisou n'avait jamais été signalée dans cette partie de la mine : l'aérage général était très satisfaisant.</p> <p>Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient occupés au traçage d'une petite galerie de remonte. Le dimanche 14 Mai, jour de chômage, la visite du chantier fut faite à 8 h. du matin par le sous-gouverneur, qui n'y vit rien d'anormal. Le lendemain les ouvriers se rendirent à leur travail. Au</p>

BASSIN DE SAINT-ETIENNE — Département de la Loire.

3. — Concession de Montrambert (suite).

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT			
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes Indirectes.	
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.		40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
18	16 Août 1882.	Puits Devilaine.	2	2	850	279.214 Tonnes.	Cloche au toit d'une galerie.	Coup de pic donné dans le tamis d'une lampe de sûreté.		
4. — Concession du Plat-de-Gier. (Instituée par décret du 9 Mars 1850).										
19	26 Mai 1882.	Puits St-Jean.	1	1	189	39.868 Tonnes.	Petit dégagement de grisou dans une galerie en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	Cause fortuite.	

Département de la Loire.

de Montrambert (suite).

OBSERVATIONS.										
11										
<p>moment où ils se hissaient sur les échafaudages du fond, leurs lampes à feu nu déterminèrent une flambée de grisou qui les brûla légèrement.</p> <p>Remarques particulières. — L'explosion a été très faible et n'a produit aucun effet mécanique. Le chômage du dimanche a dû permettre à une petite quantité de grisou de s'accumuler dans la galerie, qui n'était aérée que par diffusion.</p> <p>Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été décidé que, chaque matin, avant l'arrivée des ouvriers, les chantiers en cul-de-sac seraient visités par un sous-gouverneur muni d'une lampe de sûreté.</p>										
<p>Indications générales. — L'accident s'est produit dans la même galerie que le précédent (15 Mai.) La Compagnie avait pourvu les ouvriers de lampes Mueseler, et avait fait établir une colonne de tuyaux qui amenait l'air pur le plus près possible du front de taille.</p> <p>Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient dans la remontée. Vers 2 heures, des cloches d'éboulement, se produisant au toit, nécessitèrent un boisage exceptionnel. Les lampes Mueseler, n'éclairant pas assez la partie supérieure du chantier, l'un des ouvriers descendit à la galerie d'aérage, enleva le cône de sa lampe et remit le treillis métallique. Revenu au chantier, il reprit son travail. Une heure après, une flambée de grisou se produisit et brûla légèrement les deux ouvriers.</p> <p>Remarques particulières. — La visite des lieux, faite par le garde-mines, a établi que l'inflammation du grisou avait été déterminée par la lampe de sûreté, dont le tamis avait été perforé par un coup de pic.</p> <p>Après l'accident, on n'a pu trouver aucune trace de gaz, même dans les cavités du toit.</p>										
<p>Indications générales. — La présence du grisou n'avait pas encore été signalée dans cette région de la mine, mais elle avait été constatée autrefois dans les parties voisines.</p> <p>Circonstances de l'accident. — Un ouvrier occupé au percement d'une galerie de niveau venait d'arriver à son chantier et examinait le front de taille avec sa lampe à feu nu, lorsqu'une inflammation de gaz se produisit et le brûla à la figure et au bras droit.</p> <p>Remarques particulières. — Les chantiers étaient visités chaque matin par un sous-gouverneur muni d'une lampe de sûreté. La visite du cul-de-sac, faite une demi-heure avant l'accident, n'avait rien montré d'anormal.</p> <p>Mesures prises à la suite de l'accident. — Tous les ouvriers du puits St-Jean, occupés dans des chantiers en cul-de-sac, ont été pourvus de lampes de sûreté.</p>										

ACCIDENTS DE GRISOU.
 STATISTIQUE
 Département de la Loire.
 BASSIN DE SAINT-ETIENNE
 de Villars.
 5. — Concession
 du 17 Novembre 1824.)
 (Instituée par ordonnance)

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT			
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.	
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
20	9 Avril 1883.	Puits Beaunier	1	2	295	83.069		Ouverture d'une lampe de sûreté.	Impureté qui a corrompu la lampe de sûreté.	
			Mort des suites de ses blessures.	Brûlés.		Tonnes.				

6. — Concession
 (Instituée par ordonnance)

21	19 Août 1883.	Puits Pélissier.	2	184	40.242		Petit dégagement de grisou dans une galerie en cul-de-sac.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence des victimes en enlevant leurs lampes de sûreté.	
			Brûlés.		Tonnes.					

BASSIN D'ALAIS
 1. — Concession
 (Instituée par ordonnance)

22	5 Février 1882.	Mine du Gouffre.	1	341	146.481		Dégagement de grisou dans une	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence de la victime.	
			Brûlé légèrement.		Tonnes.					

ACCIDENTS DE GRISOU.
 STATISTIQUE
 Département de la Loire.
 BASSIN DE SAINT-ETIENNE
 de Villars.
 5. — Concession
 du 17 Novembre 1824.)
 (Instituée par ordonnance)

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS.
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.	
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
										Indications générales. — L'aérage de la mine a été reconnu insuffisant. On employait partout la lampe Muescler.
										Circonstances de l'accident. — Un ouvrier cantonnier était occupé à réparer, avec l'aide d'un piqueur, la poulie de manœuvre d'un plan incliné. N'y voyant pas assez clair, il dévissa sa lampe. Il se produisit aussitôt une flambée de grisou qui les brûla tous deux et atteignit un troisième ouvrier prenant son repas dans le voisinage.
										Remarques particulières. — D'après le règlement de la mine, on ne devait remettre aux ouvriers que des lampes hermétiquement fermées, un ouvrier étant spécialement chargé de rallumer celles qui s'éteignaient. Mais le sous-gouverneur autorisait l'ouvrier préposé au rallumage à laisser la clef suspendue à un clou, où tout le monde pouvait la prendre. C'est là la cause de l'accident.
										Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été prescrit à la Compagnie d'améliorer l'aérage et de veiller avec soin à l'exécution des articles de son règlement, relatifs à la police des lampes.

de Villebœuf.
 6. — Concession
 du 4 Novembre 1824.)
 (Instituée par ordonnance)

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient occupés au percement d'une courte galerie en direction, partant du sommet d'une remonte et destinée à rejoindre une remonte voisine pour les besoins de l'aérage. Sans s'inquiéter du règlement de la mine, ils détamisèrent leurs lampes de sûreté. Il se produisit alors une inflammation de grisou qui les brûla tous deux.

Remarques particulières. — Le détamisage des lampes de sûreté était, paraît-il, toléré par le sous-gouverneur, à cause de la difficulté qu'avaient à brûler les lampes Muescler dans les avancements. L'aérage y était très lent et, de plus, les fronts de taille dégaugeaient de l'acide carbonique. On n'avait pas observé de grisou dans ces chantiers.

Mesures prises à la suite de l'accident. — La Compagnie a été invitée à veiller à l'observation des articles de son règlement, interdisant l'ouverture des lampes.

— Département du Gard.
 la Grand-Combe.
 1. — Concession
 du 19 Mars 1782.)
 (Instituée par ordonnance)

Indications générales. — L'aérage de la mine était satisfaisant.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait dans un cul-de-sac montant. Pour voir

BASSIN D'UN Département du Gard.

1. — Concession de la Grand-Combe (suite).

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT			
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.		
2	3	4	5	6	7	8	9	10		
							galerie en cul-de-sac.		enlevé le tamis de sa lampe de sûreté.	

2. — Concession de Robiac et Meyrannes.

(Instituée par décret du 12 Novembre 1809).

23	6 Mars 1882.	Mine de Molières.		2	1948	467.006 Tonnes.	Insuffisance de l'aérage dans une taille montante.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence d'une des victimes qui a enlevé le tamis de sa lampe de sûreté.	
----	--------------	-------------------	--	---	------	-----------------	--	----------------------------------	--	--

3. — Concession de Trélys et Palmesalade.

(Instituée par ordonnance du 27 Août 1828).

24	12 Juillet 1882.	Couche St-Félix.		1	845	196.212 Tonnes.	Dégagement de grisou dans une galerie en cul-de-sac.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence de la victime qui a enlevé le tamis de sa lampe de sûreté.	
----	------------------	------------------	--	---	-----	-----------------	--	----------------------------------	---	--

OBSERVATIONS.

44

plus clair, il avait enlevé le tamis de sa lampe de sûreté. Au moment où un gros bloc de charbon se détacha du toit, il se produisit une petite flambée de grisou qui brûla légèrement l'ouvrier.

Remarques particulières. — Le chantier avait été récemment visité par le chef de poste, qui n'avait pas trouvé de gaz.

Robiac et Meyrannes.

du 12 Novembre 1809).

Indications générales. — L'aérage général était assez bon, mais il était insuffisant au point où s'est produit l'accident.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient dans une taille montante, l'un d'eux avait enlevé le tamis de sa lampe de sûreté sans que son camarade s'y opposât. La taille n'étant pas très activement aérée, il se produisit une petite inflammation de grisou qui brûla les deux ouvriers.

Mesures prises à la suite de l'accident. — La Compagnie a amélioré beaucoup l'aérage, en installant, sur l'un des puits, un grand ventilateur de 9^m de diamètre.

Trélys et Palmesalade.

du 27 Août 1828).

Circonstances de l'accident. — On travaillait au percement d'une galerie en cul-de-sac montant, dans un massif entouré de remblais, pour en préparer le dépilage. L'un des ouvriers, pour rallumer la lampe éteinte de son jeune aide, détamisa la sienne propre et l'approcha imprudemment de la cloche existant au fond du chantier. Il se produisit alors une inflammation de grisou qui le brûla si grièvement qu'il succomba quelques jours après l'accident.

Remarques particulières. — L'aérage de cette galerie, ne s'opérant que par diffusion, était très faible à l'endroit où l'accident est arrivé.

L'ouvrier qui a été victime de son imprudence, a déclaré que, depuis quatre ans qu'il travaillait dans ce quartier, il n'avait jamais trouvé aucune trace de grisou et qu'il ne croyait pas qu'il pût y en avoir, d'autant plus, que, le matin même, dans sa visite, le chef de poste n'en avait pas trouvé.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été recommandé à la Compagnie d'aérer directement les chantiers en cul-de-sac, de pratiquer, autant que possible, les percements en descente, pour prévenir les accumulations locales de grisou et d'organiser une surveillance plus efficace pour que les lampes, après l'allumage ou le rallumage, ne soient pas laissées à la disposition des ouvriers sans avoir été préalablement fermées à clef.

BASSIN D'ALAU — Département du Gard.

4. — Concession de Lalle.

(Instituée par ordonnance du 30 Avril 1828).

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	24 Avril 1883.	Puits Hortense	9	3	404	85.964 Tonnes			
			1 Brûlé, 8 asphyxies.						

5. — Concession de

(Instituée par ordonnance

26	4 Octobre 1883.		1	1	359	74.604 Tonnes.	Petit dégagement de grisou dans une galerie en cul-de-sac.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence d'une des victimes qui a ouvert sa lampe de sûreté.
			Mort des suites de ses brûlures.	Brûlé.					

BASSIN D'AUBIN.

Concession

(Instituée par ordonnance

27	27 Avril 1882.	Mine de Bourran.	1	1	234	68.051 Tonnes.	Cloche existant au toit d'un chantier.	Lampe à feu nu	Cause fortuite
			Mort des suites de ses brûlures.	Brûlé.					

— Département du Gard.

de Lalle.

(Instituée par ordonnance du 30 Avril 1828).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage général était satisfaisant. On se servait partout de lampes Mueseler.

Circonstances de l'accident. — L'accident s'est produit dans les travaux du puits Hortense au niveau de 170^m. Les circonstances en sont restées indéterminées par suite de la mort du seul mineur qui se trouvait dans le chantier où a eu lieu l'explosion. Il paraît probable que l'accident doit être attribué à une imprudence dudit mineur. Le coup de grisou a ensuite été propagé et rendu grave par les poussières de houille dont l'inflammation a fait toutes les autres victimes.

Remarques particulières. — Le premier avertissement de l'accident a été donné par deux chefs de poste, se trouvant à la recette du puits Hortense, au niveau de 170^m, et qui virent arriver, sans avoir rien entendu, un épais nuage de poussière de charbon.

Le sauvetage a été assez difficile; cependant il était terminé six heures après l'accident. De tous les ouvriers atteints un seul était brûlé, les autres paraissent avoir péri par asphyxie.

Salles-de-Gagnières.

(Instituée par ordonnance du 28 Août 1828).

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient au percement d'une galerie en remonte. Vers une heure de l'après-midi, l'ouvrier principal, trouvant que le verre de sa lampe Mueseler était sale, ouvrit celle-ci. Il se produisit aussitôt une inflammation de grisou qui le brûla ainsi que son aide. Ce dernier mourut des suites de ses blessures.

Remarques particulières. — Le chantier avait été visité le matin par le chef de poste, qui n'y avait pas trouvé de grisou.

Les deux lampes avaient été données fermées à clef, aux ouvriers, mais ceux-ci les avaient ouvertes avec la clef de rallumage, en allant à leur travail.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été recommandé à la Compagnie de ne plus laisser la clef des lampes à la disposition des ouvriers.

— Département de l'Aveyron.

de Lacaze.

(Instituée par ordonnance du 8 Mai 1836).

Indications générales. — La présence du grisou n'avait jamais été signalée dans la région où s'est produit l'accident.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait avec un aide dans un chantier nouvellement établi, et était payé au charbon abattu. Un éboulement s'étant produit dans la galerie sur

BASSIN D'ALBI

Concession

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28	19 Juillet 1883.	Mine de Bourran.	4 Morts des suites de leurs brûlures.	5 Brûlés.	238	62.423 Tonnes.	"	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence d'une des têtes qui a ouvert la lampe de sûreté.

BASSIN DE BRASSAC

Concession

(Instituée par ordonnance

29	2 Février 1883.	Quartier de la Taupe.	1 Mort des suites de ses brûlures.	2 Brûlés.	222	47.198 Tonnes.	Dégagement de grisou dans un chantier en cul-de-sac.	Explosion d'un coup de mine.	Imprudence de l'entrepreneur qui avait fait faire un coup de mine en présence de son sou.
----	-----------------	-----------------------	---------------------------------------	--------------	-----	-------------------	--	------------------------------	---

ACCIDENTS DE GRISOU.

— Département de l'Aveyron.

de Lacaze (suite).

OBSERVATIONS.

41

laquelle donnait son chantier, il eut l'idée d'aller s'approprier le charbon provenant de cet éboulement. Le gaz qui remplissait une cloche du toit, s'enflamma au contact de sa lampe et produisit une petite explosion. L'ouvrier succomba quelques jours après, des suites de ses brûlures. Son aide ne fut que légèrement atteint.

Remarques particulières. — Comme aucune trace de grisou n'a pu être constatée, pas plus après l'accident qu'avant, on s'est demandé si l'on ne se trouvait pas en présence d'une explosion de gaz complexes, produits par les incendies souterrains voisins, entraînés par le courant d'air et pouvant s'accumuler dans les cloches, par suite de leur faible densité.

Indications générales. — L'aérage se faisait par un ventilateur Guibal, qui marchait avec une vitesse de 42 tours à la minute, et aspirait 16 m. c. d'air par seconde.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier conduisait un convoi de remblais. Arrivé à une porte d'aérage, il se la fit ouvrir par celui qui en avait la garde. A ce moment, il se produisit une violente explosion, qui étendit ses effets dans une zone de 50 à 60 mètres de rayon, et brûla 9 ouvriers dont 4 mortellement.

Remarques particulières. — L'ouvrier chargé de la garde de la porte d'aérage, avait la mauvaise habitude d'ouvrir fréquemment sa lampe de sûreté pour rallumer les lampes qui s'éteignaient. Il l'avait probablement laissée ouverte par mégarde, lorsque s'est produit l'accident.

— Département de la Haute-Loire.

des Barthes.

du 11 Février 1829).

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers étaient occupés à l'avancement d'une galerie, au quartier de la Taupe, l'un d'eux ayant l'entreprise du chantier, les deux autres travaillant sous sa direction. Le matin de l'accident, le maître mineur ayant constaté la présence d'une quantité notable de gaz dans ce chantier, avait ordonné à l'entrepreneur de l'assainir avant de faire partir un coup de mine déjà préparé, auquel il se disposait à mettre le feu. Grâce à cette précaution le coup de mine fit explosion sans rien produire d'anormal, et un second coup fut préparé à mi-hauteur dans l'après-midi. L'entrepreneur constata sommairement l'absence du grisou, fit allumer la mine et se retira à quelque distance avec les deux autres ouvriers. Ils furent brûlés tous trois par l'explosion de grisou qui suivit la détonation du coup de mine, et l'un d'eux mourut des suites de ses blessures.

BASSIN DE BRASSAC — Département de la Haute-Loire.

Concession de Barthes (suite).

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
4	2	3	4	5	6	7	8	9	10

BASSIN DE CHAMPAGNAC — Département du Cantal.

Concession de Lampret.

(Instituée par ordonnance du 5 Août 1836).

30	27 Septembre 1883.	Quartier des Plattes.		Brûlé légèrement.	375	42.463 Tonnes.	Dégagement de grisou dans une remonte en cul-de-sac.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence de la victime qui voulut ouvrir la lampe de sûreté sans coup de mine.
----	--------------------	-----------------------	--	-------------------	-----	----------------	--	----------------------------------	--

BASSIN DE VOUVANT ET CHANTONNA — Département de la Vendée.

Concession de Faymoreau.

(Instituée par ordonnance du 1^{er} Février 1831).

31	24 Avril 1883.			Brûlés légèrement.	2	419 Tonnes.	Accumulation de grisou dans une cheminée montante.	Lampe à feu nu.	
----	----------------	--	--	--------------------	---	-------------	--	-----------------	--

OBSERVATIONS.

41

Remarques particulières. — Le chantier en cul-de-sac était aéré par simple diffusion d'un courant d'air naturel, passant à 170 mètres en arrière de l'avancement, ce qui était de nature à engager gravement la responsabilité de la direction de la mine.

Lorsque l'ingénieur des mines visita le chantier 24 heures après l'accident, la lampe n'indiquait aucune trace de grisou jusqu'à 1^m50 au-dessus du sol, mais plus haut se trouvait une nappe très chargée de gaz.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été prescrit à la Compagnie d'aérer directement les chantiers en cul-de-sac grisouteux.

Indications générales. — Le grisou se dégage constamment avec une grande abondance dans le quartier des Plattes, et on l'entend siffler aux avancements.

L'aérage général était satisfaisant.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait au percement d'une remonte qui n'avait encore qu'une longueur de 4 mètres. Dans la nuit du 26 au 27 Septembre, il prépara deux coups de mine, et ne trouvant pas le chef de poste à qui incombait la charge d'y mettre le feu, il ouvrit sa lampe à l'aide d'une pointe et alluma un morceau d'amadou, dont il se servit pour mettre le feu à la mèche. Il se produisit alors une petite explosion de grisou qui le brûla légèrement.

Remarques particulières. — Un ventilateur à bras avait été placé à l'origine de la remonte, et envoyait au front de taille de l'air frais puisé dans le niveau. Un jeune manœuvre était chargé de le faire tourner de temps en temps, lorsqu'on soupçonnait la présence du grisou.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été recommandé à la Compagnie d'éviter les galeries en remonte, et lorsqu'elle avait recours aux ventilateurs à bras, de les faire fonctionner d'une manière continue.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient au percement d'une cheminée montante qui devait servir pour l'aérage du niveau inférieur. Le mardi 24 avril, après 48 heures de chômage, on faisait fonctionner le petit ventilateur à bras, destiné à l'aérage de cette cheminée, lorsqu'un ouvrier, passant dans la galerie où elle débouchait, enflamma le grisou avec la lampe à feu nu qu'il portait à son chapeau. Il fut légèrement brûlé, ainsi qu'un autre ouvrier qui se trouvait à quelques mètres de là.

BASSIN DE VOUVANT ET CHANTONNIER — Département de la Vendée.

(et) Concession de Faymoreau (suite).

N ^o d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

BASSIN DE BRIANÇON — Département des Hautes-Alpes.

Concession de la Salle.

(Instituée par décret du 7 Juillet 1849).

32	27 Novembre 1882.	Mine de Malacombe.	1	3	6	645 Tonnes.	Insuffisance de l'aérage dans une galerie en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	
----	-------------------	--------------------	---	---	---	-------------	--	-----------------	--

OBSERVATIONS.

41

Remarques particulières. — Le grisou ayant été signalé dans la cheminée, on y employait des ampes Davy, mais on se servait de lampes à feu nu dans les galeries horizontales.

Mesures prises à la suite de l'accident. — La direction de la mine a prescrit l'emploi de lampes de sûreté dans les quartiers suspects, et a établi un règlement intérieur spécial pour l'emploi des parties grisouteuses.

Indications générales. — La mine de Malacombe ne comprenait qu'une seule galerie en exploitation, ouverte dans une couche presque verticale d'antracite, sur une longueur d'environ 170 mètres. Pour l'aérage, elle communiquait avec une galerie supérieure par une cheminée qui se trouvait à 100^m environ du front de taille. On aéraït la partie en cul-de-sac, au moyen d'un petit ventilateur à bras établi à la base de la cheminée et d'un tuyau en fer blanc, allant de ce ventilateur jusqu'à 10^m du front de taille.

Circonstances de l'accident. — Le Lundi 27 Novembre, après le chômage du dimanche, le maître-mineur, suivi de son fils et de trois autres ouvriers, rentra dans la galerie. On actionna le ventilateur pendant une demi-heure, puis laissant là un des ouvriers, les autres se dirigèrent, munis de lampes à feu nu, vers le fond de la galerie. Ils étaient arrivés à mi-chemin, quand une inflammation de grisou, presque immédiatement suivie d'explosion, se produisit. L'un des ouvriers fut tué instantanément par projection contre les parois : le maître-mineur, son fils et l'autre ouvrier furent contusionnés et brûlés plus ou moins grièvement.

Remarques particulières. — Le grisou ne s'était jamais montré qu'en petite quantité dans cette mine : pourtant il s'était déjà produit autrefois un accident à la suite duquel on avait pris des lampes Davy. On les abandonna bientôt d'ailleurs, parce qu'elles n'éclairaient pas suffisamment.

Mesures prises à la suite de l'accident. — L'exploitant a immédiatement remplacé le ventilateur par un autre plus fort, et les lampes à feu nu par des lampes Davy.

Résumé.

	Nombre d'accidents.	Tués.	Blessés.
Année 1882.	15	12	22
Année 1883.	17	38	37
Totaux.	32	50	59

On n'a heureusement eu à déplorer aucune grande catastrophe pendant les années 1882 et 1883. L'accident le plus grave est le coup de grisou de Lalle, qui a fait 12 victimes (9 tués, 3 blessés). Deux autres explosions survenues à Anzin et à Liévin ont fait chacune 10 victimes (8 tués, 2 blessés pour la première; 7 tués, 3 blessés pour la seconde).

Relativement à la cause déterminante de l'inflammation du grisou, les 32 accidents en question peuvent être classés ainsi qu'il suit :

	Nombre d'accidents.	Tués.	Blessés.	Total des victimes.
Explosion ou allumage des coups de mine.	10	24	21	45
Lampes à feu nu.	8	3	12	15
Lampes de sûreté ouvertes ou détamisées, etc.	13	14	23	37
Cause indéterminée.	1	9	3	12
Totaux.	32	50	59	109

D'après ces chiffres, les deux tiers des accidents (21 sur 32) n'ont pas d'autre origine que l'emploi des lampes à feu nu, ou des lampes de sûreté jouant, par suite soit de l'imprudence des ouvriers, soit d'un entretien défectueux, le rôle de lampes à feu nu. Le dernier tiers est dû à l'omission ou à l'insuffisance des précautions prescrites lors du tirage à la poudre; c'est cette catégorie d'accidents qui a causé le plus grand nombre de morts (24 au lieu de 17).

Enfin, pour le plus grave de ces accidents, celui de Lalle, la cause est restée indéterminée.

Aux mines de Liévin, de Lalle, de Douchy et de Courcelles-les-Lens, les poussières charbonneuses paraissent, dans certains cas, avoir propagé l'inflammation du grisou et aggravé ses conséquences.

Si nous nous occupons maintenant de la proportion des victimes relativement au nombre des accidents, nous trouvons les résultats suivants (*) :

Pour 10.000 ouvriers.	Nombre d'accidents.	Tués.	Blessés.
1882.	1,8	1,5	2,6
1883.	2,0	4,7	4,3

Explosions dans des mines autres que les mines de houille. — Tout ce qui a été dit jusqu'à présent s'applique aux explosions de grisou survenues dans les mines de houille. Mais, quelquefois, on a à déplorer des accidents analogues dans des exploitations d'une nature toute différente, et, pour terminer, je signalerai une explosion d'hydrogène carboné, survenue le 20 janvier 1883 dans l'ardoisière souterraine du Trou-Rigault, à Renvez (Ardenes).

Deux ouvriers travaillaient dans une galerie en relation avec des excavations anciennes, incomplètement remplies d'eau, et où se dégageaient des bulles d'hydrogène carboné. Malgré des recommandations formelles prescrivant d'employer des lampes de sûreté, ils s'éclairaient avec des chandelles. Une forte explosion se produisit et les brûla assez grièvement.

L'ingénieur des mines chargé du service a pensé qu'on se trouvait là en présence d'une inflammation d'hydrogène carboné provenant surtout de la décomposition lente de vieux bois dans des excavations anciennes.

(*) Ces chiffres sont extraits de la *Statistique de l'industrie minière*, dressée par M. l'ingénieur en chef des mines Kelle (années 1882 et 1883).

BULLETIN

DES ACCIDENTS ARRIVÉS DANS L'EMPLOI DES APPAREILS A VAPEUR

PENDANT L'ANNÉE 1884.

466

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.
27 janvier..	Bateau à vapeur « Rosario » en rade de Melilla (côte du Maroc).	Chaudière à double foyer intérieur avec tubes de retour de flammes. Avant d'arriver au moteur, la vapeur traverse un surchauffeur de forme annulaire, fixé dans un logement à la base de la cheminée. Ce surchauffeur reçoit deux tubulures, une d'accès et une de sortie, pour la vapeur, et porte une cloison verticale, formant chicane, qui est rivée sur le cylindre inférieur seulement et ne laisse entre elle et le cylindre extérieur qu'un très faible espace.	Le surchauffeur de vapeur s'est déchiré.	Chauffeur mort de ses brûlures.	Disposition défectueuse du surchauffeur.
6 février...	Scierie à Clénort (Loir et Cher).	Chaudière tubulaire de 0 ^m 70 de diamètre, à foyer intérieur. — Foyer à section composée d'un rectangle et d'un demi-cercle; largeur 0 ^m 50; hauteur 0 ^m 80. — 23 tubes en fer de 1 ^m 85 de longueur. — Timbre 6 k.	L'appareil s'est rompu en deux tronçons principaux: 1 ^o la plaque antérieure de la boîte à feu avec le foyer et 21 tubes; 2 ^o le corps cylindrique. — Ces deux tronçons ont été projetés dans deux directions opposées.	Un ouvrier tué, deux autres grièvement blessés. Hangar en partie démolli.	Disposition ovoïde facilement déformable par la pression. — Foyer insuffisamment relié à l'enveloppe et à la plaque tubulaire. — Tôle d'avant ni assez épaisse, ni assez élastique pour résister dans de pareilles conditions aux variations répétées de pression et de dilatation. (D'autres causes ont pu intervenir, mais l'état du dossier n'a pas permis de les rechercher).
7 février..	Moulinerie à Decize (Nièvre).	Chaudière horizontale, cylindrique.	Une déchirure de 1 ^m 60 de longueur.	Chauffeur blessé.	Chauffeur blessé.
13 février..	Entreprise de vidanges à Paris.	Chaudière système Viole. — Diamètre extérieur 0 ^m 78; hauteur totale 1 ^m 71. — Diamètre du foyer 0 ^m 68. — Cheminée de 0 ^m 20 de diamètre. — 33 tubes de 0 ^m 05 de diamètre. — Timbre 7 k. — Dernière épreuve en septembre 1883. — La chaudière fait partie d'une pompe de vidange montée sur chariot.	Après un repos et un transport, la chaudière a fait explosion avant la mise en marche. Tout l'appareil, sauf les roues, a été lancé en l'air à 6 ou 7 ^m pour retomber sur un lit au premier étage, en entouillant le toit. — Le foyer déformé, était arraché de sa base sur la moitié environ de son contour. — Le ciel du foyer s'est déchiré. — Le tube du manomètre et un robinet de jauge étaient obstrués par du tartre.	Le mécanicien a eu les pieds brûlés par l'eau chaude; plusieurs ouvriers ont été renversés. — Une personne, au 1 ^{er} étage de la maison, a été grièvement blessée à la cuisse par le foyer. Quelques dégâts matériels.	Mauvaise conduite du feu et défaut de résistance de la tôle non entretournée du foyer.
28 février..	Minoterie "à St-Marcel (Saône et Loire)	Chaudière horizontale de 1 ^m 33 de diamètre et 4 ^m 975 de longueur, avec foyer intérieur compose d'une partie cylindrique de 0 ^m 752 de diamètre et 3 ^m 975 de longueur et d'une partie tronconique de 1 ^m de longueur. — Dernière épreuve en mai 1874.	La virole du coup de feu s'est déchirée à peu près suivant sa génératrice supérieure; les lèvres ont été refoulées vers l'intérieur du foyer, divisées par des déchirures perpendiculaires aux génératrices.	Aucune conséquence.	Incrustations qui adhéraient au ciel du foyer. — Sous l'influence d'un feu vif, le métal a rougi au coup de feu et la tôle, affaiblie et de médiocre qualité d'ailleurs, s'est rompue sous la pression.
25 mars...	Terrassements de chemin de fer à Curbigny (Saône et Loire)	Chaudière forme locomotive. — Diamètre 0 ^m 75; longueur 1 ^m 42. — 133 tubes en fer. — Intérieur du foyer tout en cuivre. — Hauteur 0 ^m 80; largeur 0 ^m 32; longueur 0 ^m 65. — Dernière épreuve en février 1884.	La locomotive fonctionnait sur des voies mal établies avec rampes de 0 ^m 20. — Dans un refoulement de wagon, la joue droite du foyer s'est emboutie vers l'intérieur en se déchirant.	Le mécanicien a reçu des brûlures, le chauffeur a été atteint très légèrement.	Cause première: Diverses défectosités et détériorations des parties rompues. Cause déterminante possible: Cnac produit par tamponnement contre un wagon pour le refouler.
1 ^{er} avril...	Fabrique de produits chimiques à Lyon	Réceptif cylindrique en fonte de 0 ^m 52 de hauteur, surmonté d'un cylindre en tôle de 1 ^m 55 de hauteur. — Diamètre 1 ^m 05. — Chauffage par deux serpents intérieurs recevant la vapeur de deux chaudières timbrées l'une à 4 k. et l'autre à 5 k. — Un des serpents est percé de trous pour permettre, à un moment donné, de faire barboter la vapeur.	Le cylindre a éclaté.	Trois ouvriers blessés	Fausse manœuvre dans la conduite de l'appareil.

DES APPAREILS A VAPEUR PENDANT L'ANNÉE 1884.

467

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.
5 avril	Scierie mécanique à Bordeaux	Chaudière horizontale, cylindrique, avec deux bouilleurs latéraux superposés. — Diamètre du corps 0 ^m 90. — Diamètre des bouilleurs 0 ^m 60. — Longueur commune 9 ^m 50. — Timbre 5 k.	La plaque en fonte formant l'avant du bouilleur supérieur a été arrachée de sa base et projetée en avant; les deux bouilleurs ont reculé de 6 ^m environ.	Deux ouvriers blessés et morts des suites de leurs blessures, deux autres légèrement brûlés. Peu de dégâts matériels.	Obstruction presque complète de la partie très courbe du tuyau reliant le bouilleur supérieur au corps principal. — La partie faible du bouilleur a fini par céder au surcroît de pression qu'elle éprouvait à chaque alimentation.
17 avril	Tissage à Fiers (Orne)	Chaudière formée d'un corps cylindrique de 1 ^m 80 de diamètre et 10 ^m 63 de longueur, traversé par deux tubes de 0 ^m 35 de diamètre, et de trois bouilleurs de 0 ^m 65 de diamètre et 12 ^m 55 de longueur. — Timbre 7 k. — Dernière épreuve en 1877	La seconde virole du bouilleur de droite s'est ouverte en pleine tête, après s'être détachée suivant une rivure de la virole placée dans le foyer.	Chauffeur tué. Pas de dégâts matériels.	Manque d'eau par suite d'erreur d'observation causée par une obstruction partielle de la communication inférieure du tube de niveau qu'on était précisément en train de déboucher au moment de l'explosion.
28 avril	Entreprise de vidanges à Orléans	Chaudière système Field. — Diamètre extérieur 0 ^m 75; hauteur totale 1 ^m 65. — Diamètre du foyer 0 ^m 65. — Tubes de 0 ^m 06 de diamètre.	Après la mise en place et avant la mise en marche, la chaudière a été projetée à 75 ^m de distance. La cheminée a été retrouvée à 120 ^m dans une direction opposée à celle de la trajectoire de la chaudière. La rue a été jonchée de fragments.	Les cinq hommes de l'équipe ont été très légèrement blessés. Quelques dégâts matériels et un commencement d'incendie.	Voisinage du point d'alimentation et de la région où la température était le plus élevée. Épaisseur du foyer trop faible pour une chaudière à mise en pression rapide.
19 mai	Papeterie à Etival (Vosges)	Cylindre de 12 ^m de longueur et 2 ^m 20 de diamètre tournant autour de son axe principal. — Trois autoclaves placés sur une même génératrice. — Timbre 6 k. 5. — Dernière épreuve en septembre 1883.	L'un des tampons s'est brisé en un grand nombre de morceaux et sur les 14/12 ^e de sa circonférence. Ce tampon était en acier fondu renforcé par six fortes nervures.	Trois ouvriers morts des suites de leurs brûlures.	Causes difficiles à définir, qui ne peuvent être trouvées que dans une défectuosité du métal.
10 juin	Usine à gaz portatif à Soyaux	Chaudière horizontale, cylindrique, avec deux bouilleurs latéraux superposés. — Diamètre du corps 1 ^m 20; longueur 9 ^m 50. — Diamètre des bouilleurs 0 ^m 70; longueur 8 ^m 50. — Dernière épreuve en février 1881.	La tête plane de l'arrière du bouilleur de gauche s'est brisée et les morceaux ont été lancés à 40 mètres.	Chauffeur tué. Dégâts matériels.	La tête de mauvais qualité.
11 juin	Scierie de marbre à Pont-sur-Sambre (Nord).	Chaudière horizontale, cylindrique, à deux bouilleurs. — Diamètre du corps 1 ^m 20; longueur 9 ^m 50. — Diamètre des bouilleurs 0 ^m 70; longueur 8 ^m 50. — Dernière épreuve en mars 1880.	Déchirure du bouilleur de gauche suivant une génératrice sur une longueur de 1 ^m 45.	Sans conséquence.	Amincissement de la tête du bouilleur en certains points.
9 juillet	Forges au Boucau (Landes)	Chaudière horizontale, cylindrique, avec un seul bouilleur. — Diamètre du corps, 1 ^m 33; longueur, 16 ^m 96. — Diamètre du bouilleur, 1 ^m 23; longueur, 16 ^m 44. — Quatre communications de 0 ^m 55 de diamètre. — Chauffage par les gaz des hauts fourneaux. — Timbre 5 k. 5. — Dernière épreuve en août 1882.	Le fond avant de la chaudière a été arraché et projeté. — Par recul, l'appareil a été rejeté en arrière. — Le fond avant du bouilleur a été lancé à une distance de 120 m; la première virole du bouilleur s'est déchirée à la partie inférieure.	L'aide-alimenteur, a eu une jambe fracturée. — Projection de matériaux.	Manque d'eau et alimentation intempestive.
18 juillet ..	Scierie à Mouy (Oise).	Chaudière horizontale, cylindrique, de 1 ^m 25 de diamètre et 4 ^m de longueur, avec un foyer cylindrique intérieur de 0 ^m 65 de diamètre. — Timbre 5 k. — Dernière épreuve en 1878.	Explosion de la chaudière	Le propriétaire tué, son genre et trois autres ouvriers, dont le chauffeur, brûlés ou contusionnés peu grièvement. Dégâts matériels.	Excès de pression.
22 juillet ..	Fabrique de cadres à Fontenay-Trésigny (Seine-et-Marne).	Chaudière horizontale, cylindrique, avec deux bouilleurs inférieurs. — Diamètre du corps 0 ^m 80; longueur 2 ^m 00. — Diamètre des bouilleurs 0 ^m 50; longueur 2 ^m 45. — Timbre 6 k.	Le bouilleur de gauche s'est ouvert le long d'une génératrice voisine de la partie inférieure, sur une longueur de 0 ^m 85 et une largeur de 0 ^m 30, au point ayant le plus à souffrir de l'action des flammes.	Trois personnes ont reçu des blessures sans gravité. Les dégâts matériels ont été assez peu importants.	Manque d'eau.
24 juillet ..	Minoterie à Faumont (Nord).	Chaudière horizontale, cylindrique, avec deux bouilleurs inférieurs. — Diamètre du corps 0 ^m 90; longueur 5 ^m 60. — Diamètre des bouilleurs 0 ^m 40; longueur 5 ^m 40. — Timbre 5 k.	Au bouilleur de gauche, la tête du coup de feu, déjà amincie, s'est ouverte suivant la génératrice inférieure, sur 0 ^m 95 de longueur, à partir d'un point où l'épaisseur de la tête était réduite de 9 millimètres à 6 millimètres.	Peu de dégâts matériels.	Manque d'eau.

DATE de l'accident.	NATURE et situation 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.
7 août....	Filature et tissage à Lille.	Chaudière horizontale, cylindrique, semi-tubulaire et composée d'un corps de 1 ^m 73 de diamètre et 4 ^m 76 de longueur, traversé par 56 tubes en fer de 0 ^m 40 de diamètre, avec deux bouilleurs de 0 ^m 80 de diamètre et 6 ^m 52 de longueur, et de deux réchauffeurs de 0 ^m 70 de diamètre et 6 ^m 52 de longueur. — Timbre 6 k.	Le bouilleur de droite s'est violemment séparé du corps tubulaire. Deux des viroles ont été lancées, les autres se sont développées sur place.	Un ouvrier tué, un autre mort de ses brûlures. Dégâts matériels considérables, notamment destruction presque complète du bâtiment des générateurs.	Qualité insuffisante des tôles.
12 septembre	Battage de grains à Bournoncle (Haute-Loire).	Chaudière horizontale avec foyer intérieur suivi d'un gros tube de 0 ^m 40 de diamètre et 1 ^m 30 de longueur. — Retour de flamme formé de chaque côté par six tubes en laiton de 0 ^m 06 de diamètre. — Timbre 5 k. — Dernière épreuve en novembre 1877.	Le tube faisant suite au foyer s'est déchiré suivant deux génératrices. — La paroi gauche du foyer s'est aussi déchirée; des entretoises se sont brisées.	Trois enfants morts des suites de leurs blessures ou brûlures; 9 autres personnes (ou enfants), blessées plus ou moins grièvement. Plusieurs meules de paille incendiées.	La chaudière a manqué d'eau et les tôles fatiguées, notamment par d'anciens coups de feu, n'ont pu supporter l'excès de pression produit par l'arrivée de l'eau sur une surface qui avait rougi pendant qu'elle était garantie par un épais dépôt de tartre.
20 septembre	Minoterie à Pierrie (Loire-Inférieure).	Chaudière horizontale, cylindrique à deux bouilleurs. — Diamètre du corps 1 ^m ; longueur 4 ^m 20. — Diamètre des bouilleurs 0 ^m 60.	Le corps principal a cédé, à la hauteur du niveau habituel de l'eau, par le bout opposé au foyer.	Toiture enlevée et fenêtres brisées par le jet de vapeur.	Amincissement exagéré de la tôle causé par une alimentation avec des eaux acides
2 octobre..	Minoterie à Mesanger (Loire-Inférieure).	Chaudière horizontale, cylindrique, de 0 ^m 68 de diamètre et 1 ^m 95 de longueur, avec foyer intérieur de 0 ^m 44 de diamètre et 1 ^m 22 de longueur. Au bout de ce foyer sont des tubes sur les 0,73 formant le reste de la longueur du corps.	Le foyer a formé une poche au-dessus du coup de feu de la grille, puis s'est fendu transversalement par le milieu de cette poche	Aucune conséquence.	Manque d'eau
3 octobre..	Battage de grains à St-Armel (Ille-et-Vilaine).	Chaudière horizontale, cylindrique, avec foyer intérieur. — Diamètre du corps 0 ^m 70; longueur 3 ^m 45. — Diamètre du foyer 0 ^m 48; longueur 1 ^m . — 27 tubes de 0 ^m 06 de diamètre. — Dôme surmonté d'un fond plat. — Timbre 6 k. — Dernière épreuve en avril 1878.	Une fuite légère se montrait depuis quelque temps à la circonférence du dôme dès qu'on atteignait 5 k. de pression. — Une femme ayant fait jouer le sifflet à vapeur, la fuite augmenta, et le couvercle du dôme, après s'être un peu infléchi, fut lancé à 50 ^m de distance.	Aucune conséquence	Disposition défectueuse du fond du dôme qui était absolument plat, de sorte que par les variations de température, il se produisait un travail moléculaire dans la partie recourbée de la tôle, ce qui l'a altérée. — Dans ces conditions, la vibration produite par la vapeur dans le sifflet a suffi pour déterminer la rupture.
13 octobre..	Sucrerie à Ribécourt (Oise).	Monte-jus cylindrique, vertical, de 1 ^m de diamètre et 2 ^m 10 de hauteur, dont 1 ^m 33 enfoncé dans le sol de l'usine. — Timbre 5 k. 500. — Dernière épreuve en septembre 1882.	Un morceau de tôle s'est détaché sur 0 ^m 67 de hauteur et 0 ^m 74 de largeur.	Le machiniste mort de ses blessures; un ouvrier grièvement blessé.	Amincissement de la tôle pendant le temps du chômage.
13 octobre..	Canot à vapeur « le Hode », — Travaux du canal du Havre à Tancarville	Chaudière horizontale, cylindrique, de 0 ^m 80 de diamètre, avec foyer intérieur et retour de flammes par 26 tubes de 0 ^m 05 de diamètre	Au moment où l'on alimentait, la partie supérieure du foyer s'est rompue	Mécanicien tué.	Manque d'eau suivi d'une alimentation.
20 octobre..	Fabrique de drap à Lodève (Hérault).	Chaudière horizontale, cylindrique, avec deux bouilleurs. — Capacité 13 mètres cubes et demi. — Timbre 5 k. — Dernière épreuve en novembre 1883.	Le bouilleur de gauche s'est déchiré suivant une sorte de trapèze de 0 ^m 30 et de 0 ^m 40 de côté parallèlement aux génératrices et un développement de 0 ^m 95 suivant la circonférence.	Quelques brûlures sans gravité. Dégâts matériels assez peu importants.	Amincissement de la tôle.

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.
2 novembre.	Papeterie à Etival (Vosges).	Chaudière horizontale, cylindrique, à fonds hémisphériques, avec deux bouilleurs.	Il s'est produit, sans qu'aucune détonation ait été entendue, trois déchirures dans le corps de la chaudière; la première a 0 ^m 14 de longueur, chacune des deux autres 0 ^m 40. Toutes les trois sont dans la tôle du coup de feu.	Aucune conséquence autre que des dégâts au massif du fourneau.	Défaut de qualité de la tôle.
10 novembre.	Forges à Eurville (Haute-Marne)	Chaudière verticale, cylindrique, chauffée par les flammes perdues de quatre fours à puddler. — Diamètre 1 ^m 20; hauteur 14 ^m 60. — Sur les 15 viroles, 12 étaient anciennes et les 3 autres au coup de feu avaient été remplacées plusieurs fois, et la dernière fois en 1879. — Espace annulaire de 0 ^m 32 de largeur entre la chaudière et la tour en brique qui l'enveloppait.	L'explosion s'est produite au niveau de la deuxième virole complée à partir du bas. — Le fond et la première virole sont restés en place. — La deuxième virole a été brisée et ses morceaux lancés à des distances allant jusqu'à 25 ^m . Le reste de la chaudière, composé de 13 viroles pesant ensemble 6.500 k., a été lancé à 80 ^m .	22 ouvriers tués; 27 autres blessés plus ou moins grièvement; 6 autres légèrement atteints. Dégâts matériels.	Conditions défectueuses d'établissement et de fonctionnement (courants de flamme attaquant la tôle nue de la chaudière; métal étant ou étant devenu peu résistant; rivures défectueuses).
14 novembre.	Brasserie à Ghyvelde (Nord).	Chaudière horizontale, cylindrique, de 0 ^m 80 de diamètre et 2 ^m 05 de longueur, avec un foyer intérieur de 0 ^m 50 de diamètre et 1 ^m 04 de longueur et 24 tubes de 0 ^m 048 de diamètre et 1 ^m 01 de longueur. — Timbre 4 k. 500. — Dernière épreuve en juillet 1883.	La déchirure a eu lieu tout autour du trou d'homme non consolidé. — Le bouchon du trou d'homme et l'avant ont été projetés à 50 ^m et 80 ^m . — La seconde virole a été lancée vers l'arrière à 60 ^m .	Dégâts matériels assez considérables	Chaudière trop vieille et fonctionnant à une pression trop voisine de la pression normale, sinon supérieure.
18 novembre.	Papeterie à Montségur (Drôme).	Chaudière horizontale, cylindrique, de 1 ^m 36 de diamètre et 7 ^m 05 de longueur, avec un foyer intérieur de 0 ^m 75 de diamètre et 1 ^m 04 de longueur.	La chaudière s'est divisée en quatre tronçons; les quatre premières viroles avec le fond ont été lancés dans les environs.	Chauffeur grièvement brûlé. Dégâts matériels peu considérables.	Chaudière fournie avec une réparation défectueuse et la génératrice inférieure placée dans un mauvais état.
23 novembre.	Éclairage électrique d'un théâtre à Paris.	Chaudière composée de tubes dont les uns engendrent la vapeur et les autres la surchauffent (système de Naeyer). — Timbre 7 k. — Dernière épreuve en juin 1883.	Un des tubes surechauffeurs s'est fondu, suivant sa génératrice inférieure, sur 623 millimètres de longueur.	Chauffeur grièvement brûlé. Pas de dégâts matériels.	Ardeur excessive avec laquelle le feu paraît avoir été poussé.
3 décembre.	Fabrique de caisses d'emballage à Carcassonne.	Chaudière horizontale à foyer amovible. — Diamètre du corps 0 ^m 86; longueur 2 ^m 10. — Diamètre du foyer 0 ^m 45; longueur 1 ^m 80. — 21 tubes de retour de flammes de 0 ^m 055 de diamètre. — Timbre 6 k. — Dernière épreuve en juin 1884.	Le fond du corps cylindrique s'est détaché et a été retrouvé à côté du reste de la chaudière, le tout projeté à 6 ^m de distance après avoir détruit une partie du mur.	Trois personnes blessées. Dégâts matériels considérables.	Faible épaisseur et mauvais état de la tôle du fond presque plat du corps cylindrique.
4 décembre.	Scierie à Givors (Rhône).	L'appareil total consiste en une première chaudière horizontale, tubulaire, à foyer intérieur, au bout de laquelle est fixée par des agrafes à boulons de fer une deuxième chaudière composée de deux manchons cylindriques, réunis par des fonds plats; le cylindre intérieur de cette seconde chaudière devant servir de prolongement au foyer de la première chaudière. — Deux tubes mettaient respectivement en communication l'eau et la vapeur des deux chaudières; le premier avait 0 ^m 035 de diamètre, le second 0 ^m 035.	Pendant l'arrêt, le corps cylindrique de la deuxième chaudière s'est rompu suivant sa génératrice supérieure affaiblie par des orifices. — Les lignes de rivures le long des cornières se sont déchirées et la tôle s'est rabattue de part et d'autre. — Un second arrachement s'est produit sur une partie du foyer et sur une partie du fond plat d'avant avec projection à 3 ^m 50.	Toiture enlevée et vitres brisées.	Juxtaposition vicieuse de deux chaudières distinctes simulant un appareil unique. Peut-être pressions exagérées et chambre de vapeur insuffisante.
6 décembre.	Telinturerie à Troyes (Aube).	Récipient ovoïde en cuivre. — Diamètre moyen 1 ^m 40; hauteur 1 ^m 65. — Ouverture supérieure de 4 ^m de diamètre avec couvercle circulaire fixé au moyen de deux plaques annulaires en fer avec 30 boulons de 0 ^m 019 de diamètre et 0 ^m 11 d'intervalle d'axe en axe. — Timbre 3 k. — Dernière épreuve en août 1884.	Le couvercle a été projeté verticalement.	Un ouvrier tué. Toiture traversée.	Usure et fatigue du métal des boulons par suite de manœuvres trop souvent répétées.

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 PRESUMÉE de l'accident.
14 décembre.	Sucrerie à Poix (Somme)	Chaudière horizontale, cylindrique, tubulaire, avec trois bouilleurs sur le corps (0m70 ; diamètre 0m30). — Timbre 5 k. 00. Dernière épreuve en août 1881.	A la partie inférieure de la première virole, il s'est produit une bosse avec trois déchirures; sur la seconde virole, une autre bosse et en dehors de cette bosse il y a existé des fêlures; sur la troisième virole sont deux petites cassures, enfin sur la quatrième virole une petite bosse peu accentuée.	Pas de dégâts matériels.	Manque d'eau.
15 décembre.	Pénages et flature à Roubaix.	Chaudière horizontale, cylindrique, à trois bouilleurs. Diamètre du corps 1m40; longueur 8m. Diamètre des bouilleurs 0m70; longueur 8m60.	Le bouilleur de droite s'est ouvert le long de la rivure de gauche.	Un homme tué; trois autres morts de leurs brûlures; deux blessés. Dégâts matériels assez importants.	Ancienne cassure invisible.
31 décembre.	Flature à Senones (Vosges).	Chaudière horizontale, cylindrique, à trois bouilleurs. Capacité 40 m. c. 821. Timbre 7 k. Dernière épreuve en novembre 1883.	Le demi-bouilleur de droite s'est tenu le long de la serrure inférieure sur 1m20 de longueur.	Le chauffeur mort de ses brûlures; deux ouvriers plus ou moins grièvement atteints.	Violent coup de feu provenant d'une conduite défectueuse du feu.

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

	NOMBRE.	TUÉS.	BLESSÉS (1)
I. — Par nature d'établissements :			
Bateaux.....	2	2	»
Battages de grains.....	2	3	»
Brasserie.....	1	»	»
Chantier de travaux publics.....	1	»	1
Eclairage électrique.....	1	»	1
Fabrique de produits chimiques.....	2	»	1
Fabriques d'objets en bois.....	5	8	3
Filatures ou tissages.....	2	22	28
Forges.....	1	»	»
Mines.....	4	»	»
Minoteries.....	4	4	1
Papeteries.....	5	4	2
Scieries.....	2	1	1
Sucreries.....	1	1	»
Tanneries.....	1	1	»
Usine à gaz.....	2	»	2
Vidanges.....	2	»	»
Totaux.....	37	46	40
II. — Par espèces d'appareils :			
1° Chaudières sans foyer intérieur :			
Horizontales non tubulaires, avec ou sans bouilleurs.....	12	8	4
Horizontales plus ou moins tubulaires, avec ou sans bouilleurs.	2	2	»
Verticales.....	1	22	27
2° Chaudières avec foyer intérieur :			
Horizontales non tubulaires.....	3	1	1
Horizontales plus ou moins tubulaires.....	11	7	4
Verticales.....	2	»	2
3° Récipients.....	5	6	1
4° Divers.....	1	»	1
Totaux.....	37	46	40
III. — D'après les causes présumées (2) :			
1° Conditions défectueuses d'établissement :			
Construction, disposition, installation ou matières défectueuses.....			16
2° Conditions défectueuses d'entretien :			
Usure. — Fatigue ou amincissement du métal.....			6
Réparations (pour d'autres causes) non faites ou défectueuses.....			3
3° Mauvais emploi des appareils :			
Manque d'eau (suivi ou non d'alimentation intempestive).....			9
Excès de pression.....			3
Autres imprudences ou négligences.....			10

(1) On n'a inscrit comme blessés que ceux qui ont eu au moins 20 jours d'incapacité de travail.

(2) Le nombre total des causes présumées est supérieur à celui des accidents, parce que le même accident a été quelquefois attribué à plusieurs causes réunies.

NOTE

SUR

L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR

A ROUBAIX (NORD).

Par M. OLRX, ingénieur des mines.

Le 15 décembre 1884, vers cinq heures quarante-cinq minutes du soir, une explosion de chaudière à vapeur a eu lieu dans l'établissement de peignage et de filature de laines de MM. Léon Allart et C^{ie}, à Roubaix. Les dégâts matériels ont été peu considérables, mais six ouvriers ont été brûlés par le mélange d'eau et de vapeur sorti de l'appareil, et quatre d'entre eux sont morts des suites de leurs blessures.

La chaudière qui a occasionné cet accident était composée d'un corps cylindrique horizontal et de trois bouilleurs inférieurs de 0^m,70 de diamètre; elle appartenait à une batterie formée de cinq générateurs du même type et de sept réchauffeurs; sa surface de chauffe était de 74 mètres carrés, son volume de 18 mètres cubes et son timbre de 6 kilogrammes.

Le 2 juin précédent, elle avait été visitée par un inspecteur de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France, qui l'avait trouvée en bon état, et n'avait constaté qu'une légère fuite à la rivure

transversale située à la jonction des deux premières viroles du bouilleur de droite.

La rupture s'est produite à la première virole de ce bouilleur, située au-dessus de la grille; elle était constituée par deux tôles réunies au moyen de deux lignes de rivets disposées dans un même plan diamétral et horizontal. La tôle supérieure s'est déchirée sur une longueur de 1^m,20 presque tangentiellement à l'une des rivures (voir la *fig. 1* à la page suivante).

L'enquête a démontré que les appareils de sûreté étaient au complet et fonctionnaient bien; il en était de même des pompes et des tuyaux d'alimentation. Une épreuve par pression hydraulique du corps principal de la chaudière et des deux bouilleurs restés intacts n'a manifesté que de légers suintements aux bouilleurs; aucune fuite n'a été observée au corps supérieur, ce qui excluait l'hypothèse d'une surchauffe provenant d'une alimentation insuffisante. Enfin les tôles du bouilleur de droite, qui avaient 10^{mm},5 d'épaisseur et portaient la marque des tôles d'Anzin n° 5, ont été soumises à des essais à la traction qui ont parfaitement réussi; dans le sens du laminage elles ont donné une résistance à la rupture de 36 kilogrammes par millimètre carré avec un allongement de plus de 13 p. 100, et dans le sens perpendiculaire au laminage une résistance à la rupture de 34 kilogrammes avec allongement de 14 p. 100.

Il est juste de dire que l'établissement Allart n'a que strictement le nombre de générateurs nécessaire à la marche de son matériel. L'un d'eux était précisément en chômage le jour de l'accident, on avait donc une certaine tendance à forcer la vaporisation dans les autres; cette circonstance n'aurait toutefois pas suffi à elle seule à amener l'explosion, et il convient de l'attribuer à une autre cause. Sur les lèvres de l'ouverture produite, la tôle n'était

pas amincie, mais elle présentait partout une teinte noire indiquant l'existence d'anciennes cassures. On remarquait en outre une cassure entre deux rivets au voisinage de la communication (voir *fig. 1*). En faisant dériver cette tôle avec soin dans la partie non affectée par l'arrachement, j'ai reconnu qu'elle était fissurée sur presque toute la longueur de la ligne de rivure; seulement la fissure ne régnait, dans la partie non arrachée,

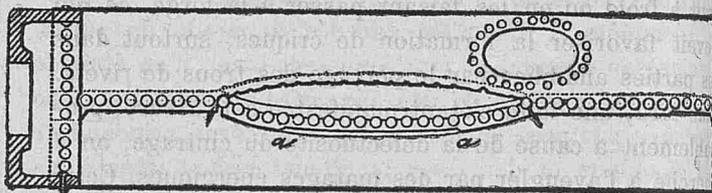


Fig. 1. — Échelle de 1/30°.



Fig. 2. — Échelle { des longueurs 1/30°.
des épaisseurs 1/6°.

que sur une fraction de l'épaisseur du métal; elle existait *vers l'extérieur* de la tôle et elle était masquée par le recouvrement de la tôle de coup de feu. La coupe transversale (*fig. 3*) représente cette disposition, et la *fig. 2* donne une idée très exacte de l'importance de l'avarie avant l'accident; la tôle ne résistait plus que par la partie de son épaisseur couverte de hachures.



Fig. 3.

Échelle 1/6°. Il est à remarquer que la rupture s'est pré-

cisément produite sur toute l'étendue du chanfrein et un peu au delà des deux côtés.

Dans ces conditions, j'ai été amené à conclure que la fissure qui a occasionné l'explosion de Roubaix a été produite par le cintrage de la tôle lors de la construction du générateur, qui remonte à 1876. A cette époque, le chaudronnier qui en avait reçu la commande ne possédait pas de four à chauffer les tôles; il les cintrait à froid ou en les faisant passer à la forge, ce qui devait favoriser la formation de criques, surtout dans les parties affaiblies par le perçage des trous de rivets. Plus tard, une fuite s'étant manifestée à la rivure, probablement à cause de la défectuosité du cintrage, on a cherché à l'aveugler par des matages énergiques. Cette fuite ne me semble avoir aucune corrélation avec la cassure initiale, car celle-ci s'étendait de l'extérieur vers l'intérieur sans affecter l'épaisseur entière de la tôle, mais les matages répétés qu'elle a nécessités le long du chanfrein *aa* ont eu pour effet d'ouvrir peu à peu la fissure, de sorte que, postérieurement à la visite de l'Association en date du 2 juin, elle a fini par traverser toute la tôle et par apparaître à l'intérieur du bouilleur. L'explosion était alors imminente et n'a plus tardé à se produire.

De ce qui précède on doit tirer l'enseignement qu'il est prudent de multiplier autant que possible les visites intérieures prescrites par l'article 36 du décret du 30 avril 1880, afin de parer aux conséquences des vices cachés qui peuvent exister à certaines chaudières; pour cela il est bon d'en avoir une de rechange. Il est désirable également que les industriels fassent surveiller attentivement la construction de leurs générateurs, dans les ateliers de chaudronnerie, par des personnes compétentes, comme le font l'État et les grandes compagnies; ils peuvent confier ce soin aux Associations de proprié-

480 EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR A ROUBAIN
taires d'appareils à vapeur. En demandant l'insertion
de la présente Note dans les *Annales des ponts et
chaussées* et dans les *Annales des mines*, la Commission
centrale des machines à vapeur a montré qu'elle jugeait
utile d'appeler l'attention des ingénieurs et des indus-
triels, sur la nature particulière de l'avarie qui a amené
l'explosion du 15 décembre 1884.

APPLICATION
DE LA MÉTHODE RATIONNELLE

AUX ÉTUDES DYNAMOMÉTRIQUES

APPAREILS ET PROCÉDÉS D'EXPÉRIENCE. RÉSULTATS OBTENUS
DANS L'ÉTUDE DE LA RÉSISTANCE DES TRAINS.

Par M. DESDOUITS, ingénieur de la marine,
adjoit à l'ingénieur en chef du matériel et de la traction
des chemins de fer de l'État.

PREMIÈRE PARTIE.

EXPOSÉ DE LA MÉTHODE.

Introduction.

Coup d'œil général sur les méthodes dynamométriques.

— Les méthodes usuelles pour la mesure des efforts dé-
veloppés dans les appareils producteurs ou récepteurs
du travail mécanique se réduisent à l'emploi de l'indica-
teur de Watt, du frein de Prony et des appareils à ressort
désignés sous le nom de dynamomètres de traction.

L'appareil de Watt et celui de Prony présentent un
caractère éminemment scientifique, simple et général.

480 EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR A ROUBAIX
taires d'appareils à vapeur. En demandant l'insertion
de la présente Note dans les *Annales des ponts et
chaussées* et dans les *Annales des mines*, la Commission
centrale des machines à vapeur a montré qu'elle jugeait
utile d'appeler l'attention des ingénieurs et des indus-
triels, sur la nature particulière de l'avarie qui a amené
l'explosion du 15 décembre 1884.

APPLICATION
DE LA MÉTHODE RATIONNELLE

AUX ÉTUDES DYNAMOMÉTRIQUES

APPAREILS ET PROCÉDÉS D'EXPÉRIENCE. RÉSULTATS OBTENUS
DANS L'ÉTUDE DE LA RÉSISTANCE DES TRAINS.

Par M. DESDOUITS, ingénieur de la marine,
adjoit à l'ingénieur en chef du matériel et de la traction
des chemins de fer de l'État.

PREMIÈRE PARTIE.

EXPOSÉ DE LA MÉTHODE.

Introduction.

Coup d'œil général sur les méthodes dynamométriques.

— Les méthodes usuelles pour la mesure des efforts dé-
veloppés dans les appareils producteurs ou récepteurs
du travail mécanique se réduisent à l'emploi de l'indica-
teur de Watt, du frein de Prony et des appareils à ressort
désignés sous le nom de dynamomètres de traction.

L'appareil de Watt et celui de Prony présentent un
caractère éminemment scientifique, simple et général.

Appliqués, l'un, à la mesure de l'effort moteur sur les pistons, l'autre, à la constatation de l'effort ou du travail effectif totalisé sur l'arbre de couche, ils constituent par leur réunion un ensemble théoriquement complet, au moins pour la machine à vapeur sous sa forme usuelle, et d'où ressort avec beaucoup de netteté la notion du rendement industriel.

Malheureusement, les circonstances de la pratique se prêtent bien rarement à l'application combinée des deux méthodes. L'installation du frein de Prony n'est effectivement possible que sur les machines fixes, encore devient-elle très laborieuse lorsque la puissance de ces machines atteint une valeur un peu élevée. La grande classe des appareils de locomotion, navires et machines locomotives, échappe entièrement à son application.

L'emploi de l'indicateur de Watt n'est heureusement pas assujéti à de pareilles restrictions. Il s'applique aux machines les plus puissantes, comme aux plus petits moteurs. Construit primitivement pour des appareils à mouvement lent, il a reçu, surtout dans ces derniers temps, d'heureuses modifications qui lui permettent de suivre le mouvement de machines à allure même très rapide, en donnant des diagrammes d'une netteté irréprochable (*). Une application plus générale de ce précieux

(*) Une cause d'inexactitude plus ou moins grave subsiste néanmoins dans l'inertie des pièces mobiles de l'indicateur. On connaît la remarquable solution imaginée par les ingénieurs des chemins de fer de l'Est pour échapper à cette cause d'erreur. Une solution beaucoup plus simple en pratique, et théoriquement irréprochable, consiste à opposer à l'action de la vapeur dans le cylindre indicateur un piston entièrement libre, n'éprouvant par suite aucune résistance autre que son poids et son inertie propre, et à déduire analytiquement du mouvement ainsi obtenu la loi des efforts moteurs. Dans cet ordre d'idées, l'état de l'indicateur devient un cas particulier de la théorie générale qui fait l'objet de cette notice (voir chap. II, p. 521).

instrument rendrait certainement de grands services pour l'étude théorique et pratique des moteurs. On lui doit déjà, pour une grande part, les perfectionnements et les résultats économiques obtenus dans la transformation récente des machines marines et des appareils fixes. Son contrôle présenterait encore plus d'intérêt pour les machines locomotives, à cause du régime essentiellement variable auquel elles sont soumises, et il est certainement très regrettable que les essais de ce genre ne soient pas encore entrés dans la pratique habituelle.

Si l'appareil de Watt et ses dérivés peuvent être considérés comme donnant la solution à peu près complète du problème des moteurs, on doit reconnaître que l'étude des efforts effectifs ou des résistances laisse beaucoup plus à désirer dans ses méthodes et dans ses procédés d'expérience. Le dynamomètre de traction est, à défaut du frein de Prony, le seul appareil d'investigation dont on ait fait usage d'une manière un peu suivie.

Cet appareil convient spécialement pour la mesure des efforts transmis d'un point à un autre, à l'intérieur d'un système matériel, soit en repos, soit en mouvement; mais il n'est pas apte, d'une manière générale, à embrasser l'ensemble des efforts auxquels ce système est soumis de la part des forces extérieures qui s'exercent en des points ordinairement multiples et en outre, pour les systèmes locomobiles, essentiellement fuyants.

C'est ainsi que dans l'étude de la résistance des trains, le dynamomètre devrait théoriquement être appliqué en chacun des points de contact des roues adhérentes avec le rail. En fait, on est obligé de le placer à l'arrière du tender: il mesure ainsi la portion d'effort résistant afférente aux véhicules remorqués, mais il laisse complètement inconnue celle qui revient à la machine elle-même et qui, au moins pour les trains de vitesse, est de

beaucoup la plus importante. De là une grande incertitude dans les résultats et les conclusions à déduire de ces expériences.

De même, pour un navire, l'effort de propulsion s'exerce aux points où les ailes de l'hélice ou les pales de la roue agissent sur le milieu liquide et, dans ce cas, l'impossibilité d'une application directe du dynamomètre est encore plus manifeste.

Pour rendre cet appareil pratiquement applicable à la mesure des efforts qui sollicitent un système matériel dans son ensemble, on est conduit à procéder d'une manière indirecte qui est la suivante : substituer au moteur propre du système un autre moteur agissant de l'extérieur, et dont l'action, appliquée en un point unique, soit telle néanmoins que le mouvement du système, et par suite, ses conditions de résistance restent identiques; le dynamomètre est alors interposé en un point de l'organe de transmission. Telle est la méthode dite « du remorquage ».

Cette méthode est susceptible d'une application sérieuse dans le cas des appareils de navigation. Toutefois, son emploi ne laisse pas d'être délicat et laborieux. Il est nécessaire de donner au câble de remorque une grande longueur pour soustraire le bâtiment remorqué à l'action perturbatrice du sillage du remorqueur : le poids de la remorque, les efforts de rappel sont une source de difficultés qui s'accroissent avec le tonnage du navire remorqué. On doit reconnaître que les expériences exécutées par cette méthode à diverses époques, malgré tout le soin apporté à leur préparation et à l'analyse des résultats, n'ont éclairé que d'une manière bien incomplète le problème de la résistance des carènes.

L'application de la même méthode aux trains de chemins de fer se présente en principe comme très simple. Cependant elle suppose encore une grande longueur de

remorque, au moins dans les essais de vitesse, pour que la résistance de l'air ambiant sur la machine remorquée se retrouve dans les conditions normales; la difficulté de guider ce long câble et la crainte de rappels violents sont sans doute les motifs qui ont empêché d'appliquer cette méthode; du moins n'avons-nous pas connaissance qu'elle ait été mise en pratique sous sa forme générale.

Quel que soit d'ailleurs le mode d'application du dynamomètre, il exige toujours des installations spéciales, plus ou moins compliquées et encombrantes.

Dans les trains de chemins de fer, l'introduction du wagon d'expérience ne peut pas toujours se concilier avec les nécessités courantes de l'exploitation. On opère sur des trains d'essai, en nombre nécessairement restreint, qui représentent sans doute certains cas du service, mais qui ne sauraient reproduire les variétés pour ainsi dire innombrables. Ce procédé, à part le vice essentiel de son principe sur lequel nous avons dû insister, ne saurait donc être considéré comme répondant au *desideratum* si justement exprimé par les principaux expérimentateurs : « de saisir sur le fait les circonstances mêmes du service courant (*) ».

L'emploi du dynamomètre de traction n'est d'ailleurs applicable qu'aux appareils à mouvement rectiligne, aux machines de traction ou de propulsion.

Pour les moteurs d'ateliers ou pour les machines-outils commandées par l'intermédiaire d'un arbre tournant, il tombe absolument en défaut.

On peut mentionner, mais seulement pour mémoire, les dispositifs ingénieux qui ont été imaginés en vue de combler cette lacune et auxquels on a donné le nom de dynamomètres de rotation. La délicatesse de ces instru-

(*) Vuillemin, Guebhard et Dieudonné (p. 15).

ments et la grande difficulté de leur montage ne permettent pas de les ranger dans la classe des appareils usuels, applicables aux recherches industrielles.

Nous avons été conduit, par l'étude pratique de ces questions, à nous rapprocher de la méthode rationnelle dont l'emploi, si fécond pour l'analyse des phénomènes généraux du monde physique, ne doit pas être moins avantageux dans l'ordre plus restreint des applications industrielles.

Cette méthode a d'abord le caractère d'une généralité absolue; elle présente, en outre, au point de vue expérimental, un avantage essentiel; elle ne comporte, en effet, que des observations *élémentaires*, appliquées pour ainsi dire à des points géométriques; par suite, les appareils de mesure sont indépendants des dimensions absolues du système à étudier, de la grandeur totale des forces transmises. Ces appareils essentiellement mobiles, dégagés même de toute liaison mécanique avec le reste du système, se prêtent à la plus grande variété d'expériences qu'on puisse concevoir. Leur introduction dans le système à expérimenter se fait pour ainsi dire inopinément, sans que le fonctionnement normal en soit troublé ni modifié d'aucune manière.

Telles sont les considérations essentiellement pratiques qui ont déterminé le choix de la méthode expérimentale dont l'exposé fait l'objet de cette notice.

Principe de la méthode rationnelle. — L'état dynamique d'un système matériel en mouvement est théoriquement défini lorsqu'on connaît, pour un certain nombre de ses points, l'une des trois lois suivantes :

Loi des accélérations, en fonction du temps.

Loi des vitesses, —

Loi des espaces parcourus, —

De là, trois formes expérimentales d'une même méthode théorique.

La mesure des accélérations est la forme la plus directe de cette méthode : elle conduit immédiatement à la notion des forces. Elle est applicable à la généralité des cas : elle convient seule pour l'étude des efforts de courte durée ou brusquement variables.

Nous déduirons cette mesure de la manifestation des forces d'inertie dans l'équilibre relatif d'un système pendulaire participant au mouvement d'ensemble.

La méthode inverse, consistant dans l'observation des espaces parcourus en fonction du temps, s'applique plus spécialement à des mouvements de longue durée et dont la loi est simple; elle comporte alors une très grande précision : c'est la méthode astronomique.

Ce procédé n'exige que des observations visuelles et la constatation des temps au moyen d'un chronomètre. La mesure des forces se déduit d'une double différentiation.

Entre ces deux modes d'opérer se place, avec un caractère intermédiaire, et participant des avantages de l'un et de l'autre, celui qui est fondé sur la mesure des vitesses. Il comporte l'emploi d'appareils tachymétriques analogues à ceux généralement en usage, mais établis dans les conditions voulues d'exactitude et de sensibilité.

Nous examinerons sommairement chacun des trois procédés, au point de vue de son caractère théorique, de sa forme expérimentale et de ses principales applications.

CHAPITRE I.

MESURE DIRECTE DES ACCÉLÉRATIONS. DESCRIPTION ET EMPLOI DU DYNAMOMÈTRE A FORCE D'INERTIE.

Principe. — Si dans un système matériel de masse M , on considère isolément un élément de petites dimensions m ,

on peut, suivant la règle de d'Alembert, poser les relations d'équilibre entre les forces réelles et fictives qui le sollicitent, savoir : les forces de liaison qui rattachent la masse considérée au reste du système, l'action de la pesanteur appliquée en son centre de gravité, enfin les forces d'inertie de ses différents points. Si les forces de liaison sont telles qu'on puisse les déterminer en grandeur et en direction, l'action de la pesanteur étant également connue, les relations d'équilibre donneront la valeur des forces d'inertie; en d'autres termes, elles feront connaître l'accélération totale de la masse m , qui mesure l'action résultante des forces extérieures.

Dans le cas le plus général du mouvement d'un système géométrique invariable, ce mode d'observation doit être appliqué à trois éléments de masse, pour qu'on puisse en conclure l'état dynamique du système entier.

Si, pour plus de simplicité dans l'exposition, et pour rentrer dans les conditions ordinaires de la pratique, nous admettons que le mouvement d'ensemble se réduise soit à une translation dans un plan, soit à une rotation suivant une circonférence de grand rayon (*), tous les points du système auront la même accélération. — Il suffira de considérer l'équilibre relatif d'un élément de masse m . L'accélération w de cet élément, ou sa force d'inertie mw étant déterminée, on en conclura la force d'inertie Mw du système total, égale à la résistance des forces extérieures qui lui sont appliquées.

La grandeur absolue de la masse dynamométrique m est entièrement arbitraire; elle peut être prise aussi petite qu'on le voudra.

Pendule dynamométrique, forme élémentaire. — La

(*) Le mouvement d'un train de chemin de fer, soit en alignement droit, soit en courbe, celui d'un navire en route libre, rentrent dans l'un ou l'autre de ces cas.

forme expérimentale la plus simple qui réponde à ces conditions théoriques est celle du pendule ordinaire. Une petite masse m suspendue en un point O et libre d'osciller dans un plan parallèle à la direction du mouvement (*), prend à chaque instant une position angulaire déterminée par la valeur de l'accélération positive ou négative w dont le système est animé.

Pour un écart angulaire α , l'accélération de la pesanteur étant g , on a :

$$tg \alpha = \frac{w}{g}.$$

Un style monté dans le prolongement de la tige du pendule, et constamment poussé par un ressort, s'appuie sur la génératrice supérieure d'un tambour à axe horizontal (Pl. VI, fig. 1) : ce tambour étant animé d'un mouvement de rotation continu, la pointe du style trace un diagramme dont les ordonnées représentent proportionnellement l'accélération à chaque instant.

On a en effet :

$$AA' = y = OA tg \alpha = OA \frac{w}{g},$$

ce qui donne pour l'accélération

$$w = \frac{g}{OA} y,$$

et pour l'effort total appliqué au système

$$F = Mw = \frac{Mg}{OA} y,$$

$\frac{OA}{g}$ est l'échelle des accélérations, $\frac{OA}{Mg}$ est l'échelle des forces.

(*) La forme du pendule suppose que le mouvement considéré soit dans un plan horizontal. Pour l'étude des composantes verticales, il est facile de concevoir un appareil analogue où l'action de la pesanteur serait remplacée par celle de ressorts de rappel.

Le mouvement du tambour enregistreur peut être commandé soit par une transmission produisant un entraînement proportionnel aux espaces parcourus, soit par un mécanisme d'horlogerie qui donne des abscisses proportionnelles aux temps. Ce dernier mode de commande a un double avantage : il n'exige aucune connexion entre le dynamomètre et le mécanisme moteur ou les essieux ; il est, d'autre part, le plus favorable pour l'analyse géométrique des résultats. Nous le supposons adopté d'une manière normale.

Dans ces conditions, le diagramme représente la loi des accélérations en fonction du temps.

$$\frac{dv}{dt} = w = f(t).$$

Observons immédiatement que la quadrature de ce diagramme, effectuée par ordonnées successives, donne la loi des vitesses :

$$\int_{v_0}^v \frac{dv}{dt} dt = \int_{v_0}^v dv = v - v_0.$$

Si l'on traduit cette dernière relation par le tracé d'une courbe, une nouvelle quadrature fournit la loi des espaces :

$$\int_{e_0}^e v dt = \int_{e_0}^e \frac{de}{dt} dt = \int_{e_0}^e de = e - e_0.$$

On pourrait donc dire que cet appareil, sans aucune complication de mécanismes auxiliaires, fonctionne à la fois comme dynamomètre, comme tachymètre et comme stadiomètre.

La forme élémentaire qu'on vient d'indiquer est parfaitement susceptible d'application pratique. Elle convient pour la mesure des efforts dont la valeur est grande relativement à la masse actionnée. Ainsi, elle a été avantageusement appliquée à l'étude des freins

à vapeur, dont l'énergie atteint jusqu'à 15 ou 20 p. 100 du poids du train (voir note B).

Elle serait, au contraire, d'une application médiocre pour la mesure des forces relativement faibles comme celles qui se développent dans les circonstances ordinaires de la marche d'un train ou d'un navire, et dont la valeur ne dépasse pas habituellement 5 à 10 millièmes du poids total. L'écart du pendule ne serait alors que de quelques millimètres par mètre, et on ne pourrait obtenir une échelle convenable des ordonnées qu'en donnant à la tige une longueur excessive ou en introduisant des multiplications de mouvement, expédient toujours médiocre. Il convient alors de recourir à la forme différentielle.

Forme différentielle. — Pendule roulant. — Une première solution toute indiquée consiste dans l'agencement de deux pendules conjugués : l'un stable, l'autre instable, dont les moments peuvent être rendus aussi voisins qu'on le voudrait de l'égalité (Pl. VI, fig. 2).

On arrive très simplement à un résultat identique par l'emploi d'un pendule roulant. Cette dernière solution est celle qui a été adoptée pour nos expériences.

Un disque ou un élément de disque σ repose par sa circonférence sur un chemin de roulement horizontal, orienté dans le sens du mouvement. Un poids mobile π permet de faire varier à volonté la distance du centre de gravité au centre de figure, et détermine une position d'équilibre stable, de part et d'autre de laquelle se développent des forces de rappel analogues à celles qui sollicitent le pendule ordinaire dévié de la verticale. Mais dans le cas actuel, l'énergie du couple de rappel ayant comme facteur la distance du centre de gravité au centre de courbure, on peut le rendre aussi faible qu'on le voudra pour un écart de grandeur finie. On a donc un système doué théoriquement d'une sensibilité absolue (Pl. VI, fig. 7).

L'équation d'équilibre s'établit aisément. Soit

- OA = R le rayon de roulement;
 OG = d la distance du centre de gravité au centre de courbure;
 w l'accélération du système mobile à un instant donné;
 α l'écart angulaire correspondant du pendule.

Prenant les moments par rapport au point de contact pour la position inclinée, on a :

$$g \times d \sin \alpha = w(r - d \cos \alpha),$$

d'où :

$$w = \frac{gd \sin \alpha}{r - d \cos \alpha}.$$

Soit, d'autre part, y le déplacement linéaire subi par le centre du disque, on a :

$$y = r\alpha,$$

d'où

$$\frac{w}{y} = \frac{gd \sin \alpha}{r(r - d \cos \alpha)\alpha}. \quad (1)$$

Supposons que l'angle α reste petit, ce qui revient à admettre une assez grande valeur du rayon de roulement; on peut remplacer $\frac{\sin \alpha}{\alpha}$ et $\cos \alpha$ par l'unité.

Par suite, l'équation (1) se réduit à :

$$\frac{w}{y} = \frac{gd}{r(r - d)}. \quad (1 \text{ bis})$$

D'où on conclut que l'accélération w est mesurée à l'échelle $\frac{r(r-d)}{gd}$ par le déplacement linéaire du centre

Pour déterminer la valeur de cette échelle, il n'est pas nécessaire de connaître la distance d : il suffira de placer l'appareil sous une inclinaison connue i : soit y_1 le déplacement mesuré du centre : l'accélération due à l'inclinaison i est égale à $g \times i$: on a donc :

$$\frac{gi}{y_1} = \frac{gd}{r(r-d)};$$

d'où la valeur de l'échelle

$$\frac{r(r-d)}{gd} = \frac{y_1}{gi}.$$

Degré de sensibilité. — La sensibilité de cet appareil, absolue en théorie, n'est limitée en fait que par les résistances passives dues au roulement du disque sur son chemin de fer et au frottement du style chargé d'inscrire les déplacements du pendule. L'emploi de secteurs et de rails en acier trempé, parfaitement polis, réduit la première de ces résistances à un chiffre très faible, bien inférieur au coefficient ordinairement admis pour l'influence du roulement. Quant au frottement du style enregistreur, divers moyens pratiques bien connus permettent également de le réduire à une valeur tout à fait négligeable. Mais l'emploi de ces dispositions, toujours un peu délicates, n'est aucunement nécessaire; on peut, sans chercher à supprimer entièrement les frottements de l'appareil, obtenir des mesures d'une exactitude absolue, grâce à un procédé fort simple et dont le caractère est assez général pour qu'il paraisse utile d'y insister brièvement.

L'appareil est supporté par une base triangulaire : deux des pieds sont fixes; le troisième peut tourner à l'intérieur d'une douille; la commande de ce mouvement se fait au moyen d'une sorte de rochet qui produit, en même temps que la rotation autour de l'axe, une série de ressauts de faible amplitude et à courts intervalles. Grâce à cette sorte de trépidation, la pression entre les surfaces en contact s'annule périodiquement; les frottements s'annulent en même temps, de sorte que le crayon, s'il se trouvait écarté de sa position d'équilibre, y revient dans un temps très court et s'y maintient rigoureusement.

Dans beaucoup de cas, il n'est pas nécessaire de donner artificiellement ce mouvement vibratoire. Dans un train en marche, par exemple, dès que la vitesse est un

peu grande, le passage des roues sur les joints des rails produit un effet tout à fait semblable. La même chose a lieu sur un navire soumis à l'action de son propulseur, roues ou hélice.

Si, au contraire, on observait un mouvement très tranquille, tel que le ralentissement d'un navire stoppé en eau calme, aucune trépidation ne se faisant alors sentir, on ferait intervenir le mouvement de vibration artificiel.

En fait, on obtient avec cet appareil, sans le compliquer d'aucun organe délicat, une précision très grande; l'approximation des mesures n'est pas inférieure à 1/10.000 du poids total; en d'autres termes, on pourra se rendre compte d'un effort de 10 kilogrammes appliqué à une masse en mouvement de 100 tonnes.

Inertie propre du pendule. — En posant l'équation d'équilibre relatif au pendule roulant, on a admis que l'accélération résultante des forces extérieures w avait, à un instant donné, une valeur constante; cette hypothèse est légitime pour tout mouvement continu où les forces en jeu n'éprouvent, dans un temps très court, que des variations infinitésimales.

Si on observe, au contraire, des forces agissant brusquement, ou changeant d'intensité dans un temps très court, tel qu'une fraction de seconde, il devient nécessaire de considérer l'inertie propre de l'appareil pendulaire, en d'autres termes, sa période d'oscillation.

La durée d'une oscillation simple du pendule roulant est donnée par la formule

$$t = \pi \sqrt{\frac{\rho^2}{g\delta}},$$

dans laquelle ρ représente le rayon de giration du pendule roulant par rapport au point de contact, centre de la rotation instantanée.

On reconnaît d'abord que la durée d'oscillation ou l'inertie de l'appareil est essentiellement dépendante de la distance du centre de gravité au centre de courbure d . Cette quantité est également la caractéristique de la sensibilité ou de la grandeur de l'échelle.

Tout pendule très sensible ou mesurant de petites forces à une grande échelle aura une durée d'oscillation relativement longue, une grande inertie.

Au contraire, un pendule très stable, mesurant les efforts à une faible échelle, aura une faible durée d'oscillations, une grande mobilité (*).

La valeur du rayon de giration ρ influe en sens inverse de la valeur de d . La mobilité du pendule est d'autant plus grande que son poids est plus abaissé et plus ramassé.

L'emploi de l'appareil qui nous occupe peut être considéré à deux points de vue diamétralement opposés.

Si on cherche à saisir et à enregistrer l'évolution de forces d'une durée extrêmement courte, presque instantanée, comme le serrage brusque d'un frein, ou le choc d'une lame sur l'avant d'un navire, l'inertie du pendule doit se rapprocher autant que possible de zéro, pour lui permettre de suivre le phénomène sans aucun temps perdu.

D'ailleurs, les observations de cette nature portent ordinairement sur des forces d'une intensité relative considérable; leur étude demande un pendule d'une grande stabilité, condition favorable à la réalisation

(*) On remarquera la grande analogie de cette théorie avec celle du roulis des navires: la position du centre de courbure joue ici le même rôle que celle du centre de la surface enveloppe des flottaisons isocarènes ou point métacentrique.

Comme dans le cas du pendule roulant, le navire le moins stable, celui qui présente la plus faible valeur du bras de levier métacentrique d , est en même temps le plus tranquille, celui qui a la moindre tendance au mouvement du roulis.

d'une faible inertie. La forme théorique de l'appareil se réduit alors à un secteur de grand rayon et très léger, supportant à une faible hauteur au-dessus du chemin de roulement une masse pesante, mais de faibles dimensions transversales. Pour ce cas particulier, d'ailleurs, la forme du pendule suspendu, plus simple, est tout aussi avantageuse.

L'emploi de cet appareil permettra de saisir de nombreux phénomènes qui, à cause de la faible durée de leur évolution, ne sont susceptibles pratiquement d'aucun autre mode d'analyse, cinématique ou dynamique. La difficulté consiste le plus souvent à isoler complètement un de ces phénomènes, des actions concomitantes ou réflexes dont la superposition rendrait l'analyse des diagrammes très laborieuse.

Dans l'ordre des recherches dynamométriques proprement dites, la question se présente ordinairement sous un autre aspect. Les efforts qu'on se propose de mesurer sont en général de nature continue, et ont une valeur relative assez faible. Mais, ici encore, la question se complique souvent de phénomènes accessoires, dans lesquels des efforts ordinairement à courte période, mais d'une grande intensité, se développent autour de l'effort principal. C'est ainsi que, dans un véhicule de chemin de fer, la rencontre des joints des rails donne lieu à une réaction de très courte durée, mais dont la valeur absolue est comparable, sinon supérieure, à l'effort moyen de traction; la variation du couple moteur produit une perturbation analogue.

L'intervention de ces phénomènes secondaires n'a pas pour effet de fausser les indications de l'appareil, dont l'ordonnée correspond toujours à l'effort résultant effectif, mais il est de nature à rendre plus pénible l'interprétation des diagrammes dont le tracé présente alors des ondulations profondes.

C'est en augmentant l'inertie du pendule qu'on arrive à pallier ces effets. La condition d'une grande sensibilité exigée pour la mesure des petites forces est, comme on l'a déjà remarqué, favorable à la grande durée des oscillations. Pour une échelle une fois adoptée, la distance du centre de gravité au centre de roulement étant déterminée, on obtiendra la plus grande inertie possible en reportant la masse de l'appareil vers son pourtour et en augmentant ses dimensions absolues (*).

Frein à eau. — L'augmentation de l'inertie du pendule, par l'accroissement de sa masse et de son rayon de giration aurait pour effet, au delà de certaines limites, de lui faire perdre son caractère portatif, condition essentielle au point de vue de la variété de ses emplois. D'ailleurs, cette solution n'est pas sans présenter par elle-même quelques inconvénients : la masse, agissant comme volant, n'annule pas le travail des forces accidentelles, elle l'emmagasine et le totalise en valeur algébrique; si, par suite de circonstances fortuites, ce travail vient à atteindre à un moment donné une valeur élevée, le pendule est animé d'un mouvement oscillatoire propre qui ne s'éteint ensuite que très lentement; l'inertie

(*) L'appareil ainsi doué d'une grande inertie, et par suite n'obéissant à l'action des forces que d'une manière progressive, n'a pas perdu son aptitude à rendre compte des phénomènes à évolution rapide : la généralité théorique de son emploi subsiste d'une manière absolue; seulement, il devient nécessaire de faire intervenir dans l'analyse du diagramme l'état de mouvement relatif du système pendulaire. L'ordonnée, à un instant quelconque, ne représente plus d'une manière générale l'effort extérieur, mais elle exprime en fonction du temps la loi du mouvement d'un corps dont les conditions géométriques et statiques sont déterminées; le problème est donc entièrement défini : les procédés graphiques d'analyse qui seront exposés un peu plus loin permettent de le traiter avec une assez grande facilité (chap. II, p. 517).

tie intervient donc à cet instant, et quelquefois d'une manière fâcheuse, comme cause perturbatrice. Ces difficultés sont levées par l'emploi du frein à eau.

Le principe du frein hydraulique consiste dans l'échange, entre des limites très étendues, des deux éléments de la force vive : masse et vitesse ; il permet d'obtenir une action modératrice aussi grande qu'on le voudra, sans accroissement du poids ni des dimensions de l'appareil ; son emploi sera donc ici très avantageux : un piston métallique, mobile à l'intérieur d'un corps de pompe rempli d'eau ou de tout autre liquide, est relié au mouvement du pendule par l'intermédiaire de bielles légères formant un ensemble équilibré ; ce piston est percé d'un orifice étroit dont on règle l'ouverture en proportion de l'effort de retenue qu'on veut obtenir ; l'action du frein ne trouble en rien l'état d'équilibre relatif que prend le pendule sous un effort permanent ou progressif, si faible qu'il soit. Il forme, au contraire, un obstacle énergique à la transmission des chocs et des perturbations instantanées, quelle qu'en soit la violence (*).

L'appareil du frein s'embraye et se désembraye à volonté. Pour l'étude des forces à courte évolution, il convient ordinairement de le désemparer.

Forme d'exécution. — Les deux vues de la *fig. 6*, Pl. VI, rendent compte de la forme d'exécution adoptée. Le corps du pendule est formé de flasques métalliques venues de fonte ou reliées par des entretoises massives : deux secteurs circulaires en acier trempé, portant sur

(*) Par exemple, l'appareil étant placé dans un véhicule de chemin de fer, l'ordonnée du diagramme éprouve à peine sous l'action des plus forts cahots une oscillation de 1 millim. de part ou d'autre de sa position moyenne, tandis qu'elle accuse par un écart de plusieurs centimètres la variation d'état dynamique due à la fermeture du régulateur.

deux rails parallèles du même métal, constituent la partie géométrique du système. Le poids de l'ensemble a été, autant que possible, reporté vers les extrémités ; le centre de gravité est très rapproché du centre des secteurs, ce qui est la condition d'une grande sensibilité. Des poids additionnels, variables à volonté, permettent de réduire l'échelle en augmentant la stabilité pour la mesure d'efforts relativement élevés.

L'appareil enregistreur (*) présente une disposition qui se prête à des observations d'une durée considérable. La bande de papier, dont la longueur peut atteindre 10 ou 20 mètres, est enroulée sur un cylindre magasin *a* légèrement serré sur son axe fixe ; elle passe sur le contour rugueux d'un deuxième cylindre *b* pour venir s'enrouler sur un troisième *c*, sollicité par un ressort de rappel. Le rouleau *b* est commandé par le mouvement d'échappement du rouage d'horlogerie ; à chaque échappement (de $1/5$ en $1/5$ de seconde) sa circonférence avance d'une quantité déterminée ; le papier du diagramme reçoit un mouvement égal sous l'action du ressort de rappel.

Le rouage a été disposé pour deux vitesses très différentes : l'une est de 2 millimètres par seconde pour les mouvements rapides, l'autre de 5 millimètres par minute pour l'observation des mouvements continus et à longue période. Il serait facile d'adopter toute autre combinaison d'échelles.

Le crayon enregistreur est monté, non au centre de figure, mais, afin d'obtenir des ordonnées plus grandes pour un même écart angulaire, à la partie supérieure du pendule ; il est placé dans l'axe de symétrie de l'appareil, et mobile suivant cet axe ; son poids l'applique constamment, avec un faible effort, sur le rouleau enregistreur.

(*) Entièrement étudié par M. Paul Garnier.

On reconnaît que cette disposition géométrique donne pratiquement, pour les petits angles, des ordonnées proportionnelles aux forces (*).

L'échelle des forces se règle à volonté au moyen des poids additionnels, suivant le genre d'expérience qu'on a en vue. La valeur précise de cette échelle est donnée, comme il a été dit, par une expérience d'inclinaison qu'on fait sur un marbre, à l'atelier.

Une échelle comprise entre 2 millimètres et 5 millimètres par millième du poids total est très convenable pour l'étude de la résistance des trains ou des navires.

Les dimensions absolues de l'appareil sont, comme on l'a vu, tout à fait arbitraires. On les a assez réduites pour qu'il conserve un caractère portatif.

Application à la mesure des efforts dans les systèmes locomobiles.

Nous avons établi la théorie de cet appareil pour un système invariable, animé d'un mouvement de translation ou de rotation de grand rayon, dans un plan horizontal.

C'est le cas ordinaire d'un train de chemin de fer, ou d'un navire faisant route en eau calme.

L'application est immédiate pour ces deux cas :

1° *Expériences sans admission de vapeur ; mesure des résistances.* — L'appareil étant placé en un point quelconque du système mobile, et orienté suivant la direction de la vitesse V_0 , si on supprime à un moment donné l'action du moteur, on obtient immédiatement une ordon-

(*) Il convient pour cela de ne pas dépasser de part et d'autre de l'axe une amplitude de 3 à 4 centim. Pour les amplitudes plus grandes, on déterminerait expérimentalement l'échelle variable au moyen d'inclinaisons croissantes.

née y_0 , qui fait connaître l'accélération négative et, par suite, la résistance par unité de poids du système entier pour la vitesse considérée. A partir de cet instant, le train étant supposé par exemple en palier, ou le navire en eau calme et sans vent, la vitesse décroît progressivement jusqu'à zéro. L'ordonnée qui mesure la résistance varie également jusqu'à une certaine valeur finale y_1 . La quadrature de l'aire $y_0 y_1$ par ordonnées successives permet de calculer, pour chaque valeur de la résistance, la vitesse correspondante. On a donc, entre les limites V_0 et 0 la loi des résistances en fonction de la vitesse pour le système considéré (Pl. VI, fig. 3).

Cette recherche peut être étendue, sans aucune difficulté, jusqu'aux limites extrêmes de vitesse. Elle s'applique indifféremment à toute composition de trains, à toutes dimensions de navires.

Dans le cas des trains de chemins de fer, on a supposé la marche en palier. Cette restriction n'est pas nécessaire. On remarquera, en effet, que l'appareil donne, *en marche*, des indications indépendantes de l'inclinaison de la voie et mesure simplement la résultante des efforts moteurs et résistants du train, abstraction faite de l'action éventuelle de la pesanteur. Cela résulte de ce que la composante d'inclinaison statique, introduite par la gravité, est identiquement détruite dans l'état de mouvement par sa composante d'inertie.

Nous avons considéré le train ou le navire comme un système invariable, animé d'un simple mouvement de translation ; à la vérité, les roues, l'hélice, et toutes les parties du mécanisme ont dans l'ensemble un mouvement propre, assujéti à une loi différente. De là, la nécessité d'une correction variable suivant les cas, mais ordinairement faible.

Dans le calcul de cette correction, on n'a pas à tenir compte des pièces à mouvement périodique dont l'accé-

lération moyenne est nulle. Quant aux parties qui, comme les essieux, prennent sous l'influence de la translation générale un mouvement de rotation, on sait que la correction revient à affecter leur masse d'un coefficient plus grand que l'unité $\left(1 + \frac{\rho^2}{r^2}\right)$, r étant le rayon de roulement, ρ le rayon de giration par rapport au centre. Pour les trains de chemin de fer, cette correction est en moyenne de $\frac{1}{15}$ de la masse totale (*).

2° *Expériences avec admission de vapeur : mesure des efforts moteurs.* — La valve d'introduction étant ouverte en grand, la pression à la valeur de régime et l'appareil de détente à une division donnée, l'ordonnée y_1 fournie par le diagramme mesure l'effort moteur effectif appliqué à la masse mobile, diminué de la résistance propre du système pour la vitesse actuelle. La valeur de ce terme soustractif s'obtient, comme on vient de le voir, en supprimant l'action du moteur; y_2 étant la nouvelle ordonnée (négative), la somme $(y_1 + y_2)$ mesure l'effort effectif obtenu pour le cran de marche et la vitesse considérés; cet effort comprend la résistance des organes mobiles du moteur travaillant à vide (Pl. VI, fig. 4).

(*) Une difficulté analogue se rencontre dans le cas des corps flottants, par suite de la présence d'une certaine masse d'eau entraînée avec le navire. L'expérience donne bien l'accélération négative et, par suite, la résistance propre du navire dans son mouvement ralenti, mais cette résistance n'est pas identique, pour une valeur donnée de la vitesse, à celle du navire à l'état du mouvement uniforme, parce que dans ce cas une plus grande quantité de travail est dépensée pour mettre en mouvement de nouvelles molécules d'eau à la place de celles qui abandonnent le navire et dont la force vive se perd. La résistance trouvée doit donc être modifiée par l'intervention d'un coefficient > 1 , et qui pourra être déterminée par quelques expériences de comparaison entre cette méthode et celle du remorquage.

La différence entre l'effort effectif ainsi mesuré, et l'effort absolu sur les pistons, qui se déduit des mesures prises avec l'indicateur de Watt, donnera la valeur des résistances dues à l'action de la vapeur sur le mécanisme et la distribution pour le degré d'introduction considéré.

Tous les éléments essentiels du moteur et de la résistance sont ainsi déterminés (voir 2^e partie, *Résistance des trains*).

Application au contrôle de la marche des trains.

On remarquera incidemment que cet appareil constitue un instrument de contrôle fort complet de la marche des trains de chemin de fer.

Il fournit, en effet, des indications très détaillées sur toutes les circonstances qui se produisent en cours de route : grandeur et durée des efforts de démarrage, admission aux divers crans de la coulisse, marche à régulateur fermé, à contre-vapeur, ou en arrière, action des freins, ralentissements et arrêts, patinage, etc.

Les diagrammes donnent la corrélation de ces faits avec le temps : une double quadrature, combinée s'il y a lieu avec les indications du profil en long de la voie, permet de les rapporter soit à la vitesse, soit à la position du train sur la ligne.

Pour cet objet restreint, et si l'on veut se contenter de l'observation des phénomènes, sans s'attacher à leur mesure exacte, on peut simplifier beaucoup l'appareil en le ramenant à la forme du pendule (note A).

Application à l'étude d'un mouvement quelconque dans un plan horizontal.

Le mouvement le plus général d'un système matériel dans un plan donné est défini lorsqu'on connaît pour

deux de ses points la trajectoire et l'accélération tangentielle, ou bien les composantes de l'accélération suivant des axes rectangulaires invariables, ou enfin les deux accélérations tangentielle et centripète.

Dans le premier cas, qui est celui des trains de chemin de fer, l'observation de l'accélération tangentielle au moyen du dynamomètre à force d'inertie résout entièrement le problème du mouvement; la connaissance de la force centrifuge résulte de celle du rayon de courbure.

Lorsque la trajectoire n'est pas donnée *à priori*, on devra procéder, pour chacun des deux points considérés, à deux observations simultanées effectuées dans deux plans perpendiculaires; soit que les appareils étant montés sur une planchette à pivot, on maintienne, au moyen d'un viseur, leur orientation fixe dans l'espace; soit qu'ils obéissent au mouvement d'ensemble du système et rendent compte l'un, de l'accélération tangentielle, l'autre, de l'accélération centripète.

Nous devons nous contenter ici d'avoir signalé cette forme générale de l'emploi des appareils à inertie: elle donne la solution d'importants problèmes, et résout notamment la question si complexe et si intéressante des évolutions du navire à la mer.

Cas d'un mouvement quelconque. — La même méthode, poussée à un plus haut degré de généralité et comprenant la mesure des composantes verticales, permet d'aborder l'étude d'un mouvement quelconque dans l'espace.

Dans certains cas, la connaissance des composantes verticales pourra être suppléée par des observations cinématiques. Une application intéressante de mode d'opérer se rencontre dans le problème du roulis des navires.

Application aux machines fixes et aux machines-outils.

Une machine fixe d'atelier, considérée avec les outils ou autres organes qu'elle commande, constitue un ensemble dont les divers éléments de masse possèdent des vitesses et, par suite, des accélérations très différentes en grandeur et en direction; il serait donc très difficile, pour ne pas dire pratiquement impossible, de conclure directement de la mesure des accélérations à celle des forces. On y parviendra par voie indirecte en transformant le travail qu'on veut mesurer en une communication ou une destruction de force vive sur un organe spécialement disposé pour cet objet.

Nous nous contenterons d'avoir posé ce principe, dont le développement et les applications pratiques auront mieux leur place à l'occasion de l'étude des appareils tachymétriques (chap. III).

Toutefois, il est une application d'un autre ordre qu'il paraît utile de mentionner ici: un appareil indicateur des accélérations, à part toute question de mesures dynamométriques, serait fort utile pour la surveillance de machines qui exigent un mouvement très régulier.

Cet appareil renforcé et appliqué à l'organe de commande de la machine motrice, deviendrait un modérateur d'une rare efficacité, puisqu'il agirait non en vertu d'une différence de vitesse déjà produite, mais à l'instant même où apparaît la cause qui doit produire cette différence de vitesse.

Une forme d'exécution très simple consiste dans la combinaison d'un volant A, à moyeu taraudé qui se monte sur une vis à pas allongé, dans le prolongement de l'arbre moteur, et d'un pendule massif à axe fixe c qui embrasse un manchon m solidaire de la rotation du volant. (Pl. VI, fig. 8.)

Lorsque le mouvement du moteur est uniforme, le volant tourne avec lui, sans avancer ni reculer sur son pas de vis, dans un plan moyen qui correspond à la situation verticale du pendule.

S'il se produit une variation d'effort moteur ou résistant tendant à accélérer ou à ralentir le mouvement, le volant, en vertu de la force d'inertie, avance ou recule sur l'arbre fileté jusqu'à ce que l'inclinaison produite sur le pendule le maintienne en équilibre.

Si le pendule est en connexion avec l'organe de commande du moteur, l'introduction de la vapeur est, par ce fait, modifiée ou entièrement supprimée à volonté (*).

CHAPITRE II.

MESURE DES ESPACES PARCOURUS EN FONCTION DU TEMPS.

ANALYSE GRAPHIQUE DES RÉSULTATS.

Nous nous sommes étendu avec quelques détails sur la méthode directe des accélérations, tant à cause de son caractère original que de sa grande généralité.

Le mode d'opérer que nous avons à définir dans ce chapitre ne présente pas la même universalité d'application que l'emploi du dynamomètre à force d'inertie; il est pratiquement limité à l'étude de mouvements de nature continue, et dans lesquels le repérage des espaces peut se faire avec facilité. Sous cette restriction, il se prête à un système d'observations extrêmement simple et d'un caractère absolument pratique.

Dans l'ordre des études spéculatives, le champ de ses applications est des plus vastes; il constitue l'essence de la méthode astronomique.

(*) Une disposition analogue, appliquée aux appareils de levage, donne un frein de sûreté très simple et d'une grande efficacité.

Dans la sphère plus restreinte des applications industrielles, auxquelles nous devons nous borner, il fournit encore une méthode précise pour la solution de problèmes fort importants.

Nous nous tiendrons dans l'exposé de cette méthode à un point de vue rigoureusement pratique, et pour préciser, nous admettrons qu'elle ait pour objet l'étude spéciale des trains de chemin de fer. Nous nous proposons de montrer comment on peut, avec la plus grande facilité, et sans aucun appareil d'expérience autre qu'une montre de poche, saisir les conditions dynamiques d'un train quelconque en mouvement et dégager, par l'analyse, les éléments de sa résistance et de la puissance de son moteur.

Cette méthode n'a pas, à proprement parler, un caractère de nouveauté. Le principe en est indiqué avec beaucoup de netteté au début du mémoire de MM. Vuillemin, Guebhard et Dieudonné (*). Mais il semble qu'une certaine défiance se soit toujours attachée à son emploi; les expériences n'ont pas été conçues suivant un programme assez large; elles ont presque toujours été abandonnées sans avoir reçu les développements qu'elles comportaient.

Il importe donc d'exposer ici avec quelques détails les règles d'ordre pratique, parfois minutieuses, mais simples et d'une exécution facile, qui permettent d'obtenir dans l'étude qui nous occupe, à la fois des observations précises et une analyse rigoureuse des résultats.

(*) Des expériences de cette nature ont été exécutées dans la Marine nationale, il y a une quinzaine d'années, en vue de comparer les résistances propres de deux navires de même type, l'un en bois, l'autre en fer, la *Flandre* et l'*Héroïne*. Ces expériences donnèrent des résultats comparables à ceux obtenus par d'autres méthodes dynamométriques. Néanmoins, les essais n'ont pas été poursuivis.

Le problème de l'observation des espaces en fonction du temps se réduit à deux termes :

1° Repérage de distances égales ou inégales, aussi rapprochées que l'exigent les conditions particulières de chaque problème ;

2° Constatation et enregistrement des temps correspondant aux passages successifs en face des points repérés.

1° *Repérage des espaces.* — Le mode de repérage des espaces est essentiellement variable avec la nature du problème ; dans les observations astronomiques, il se déduit de mesures angulaires simples ou combinées. Pour les recherches balistiques, on a disposé, à des intervalles déterminés, des conducteurs électriques qui indiquent, par la fermeture ou la rupture d'un courant, l'instant précis du passage des projectiles. Dans l'étude des trains de chemin de fer, les divisions de l'espace sont fournies directement, soit par les poteaux kilométriques et hectométriques disposés le long de la voie, soit par les longueurs des rails, soit par les tours de roues de la machine.

Les intervalles kilométriques sont généralement repérés avec précision ; mais ils sont beaucoup trop espacés pour suffire à la description continue du mouvement considéré.

Les distances hectométriques fournissent ordinairement des intervalles convenables ; la pose des poteaux n'est pas toujours faite d'une manière entièrement correcte ; mais comme on le verra, des erreurs *isolées* disparaissent dans l'analyse finale des résultats.

Pour des mouvements de peu d'amplitude et où le repérage des espaces doit être très rapproché, le comptage des joints des rails peut servir utilement, soit que sur une ligne à double voie on observe le passage des éclisses de la voie opposée, soit que l'on compte les ressauts éprouvés

au passage des joints par les essieux du véhicule même où on est placé.

L'observation du nombre des tours de la machine est un moyen à la fois simple et très sûr pour les vitesses modérées ; aux grandes vitesses, il devient incertain, quelle que puisse être l'habitude de l'observateur. L'installation, extrêmement facile, d'un compteur à mouvement ralenti, sur l'un des essieux, permet d'opérer à toutes les vitesses avec une sûreté absolue.

2° *Mesure du temps.* — La lecture des temps correspondant à la rencontre d'une série de repères est une observation absolument simple par elle-même et sur laquelle, au premier abord, il semble inutile d'insister. Cependant c'est là que réside toute la difficulté des expériences cinématiques. Si on observe, en effet, que l'expérimentateur, supposé muni d'une montre ordinaire, devrait, au passage de chaque repère : 1° porter les yeux du point observé sur le cadran de la montre ; 2° lire instantanément la position exacte d'une aiguille en mouvement, sans qu'il soit possible de corriger, ni même de constater après coup, une erreur commise ; 3° enregistrer sur place cette observation avant de passer à la mesure suivante ; on conçoit que des opérations de ce genre soient regardées comme impropres à la mesure d'intervalles très rapprochés.

Toutes ces difficultés sont écartées et la mesure du temps acquiert un extrême degré de précision par l'emploi du compteur chronographe.

Cet instrument, trop peu connu et trop peu pratiqué, est une simple montre de six centimètres de diamètre, dont le cadran est parcouru par une grande aiguille dans l'intervalle d'une minute. Le contour du cadran est divisé en secondes et chaque seconde en cinq intervalles égaux.

A l'extrémité de l'aiguille indicatrice est un petit ré-

servoir d'encre grasse percé à sa base d'un trou capillaire. Une pointe à ressort, actionnée par un bouton sous le doigt de l'observateur, projette à travers ce trou une gouttelette d'encre, en face de la division du temps qu'on veut noter, sans troubler en rien la marche de l'aiguille. On peut répéter le pointage autant de fois qu'il sera nécessaire dans le tour du cadran, sans avoir jamais à détourner les yeux de l'observation des repères.

Les intervalles de $1/5$ de seconde sont représentées sur le cadran par plus de $1/2$ millimètre; les marques de pointage, fines et régulières, se présentent bien en face de la graduation. Dans ces conditions, on peut avec de l'attention faire la lecture du temps à $1/20$ de seconde près. D'autre part, l'opération même du pointage est assez rapide pour que, dans l'intervalle d'une seconde, il soit facile de déposer sur le cadran jusqu'à cinq ou six marques parfaitement distinctes.

On voit, en résumé, que cet instrument comporte par lui-même une grande précision; il permet, avec un peu d'habitude, de suivre par une observation très serrée la loi de succession des espaces en fonction du temps dans tout mouvement doué de continuité, tel que la marche normale d'un train de chemin de fer.

Donnons un exemple numérique de son emploi :

Tableau A.

Train composé de : 1 machine GV et son tender, Poids : 50r,0				Pente de 0 ^{mm} ,5.			
— 8 véhicules (fourgons et voitures) 85r,0				—			
Régulateur fermé.				Poids total. . . . 135r,0			
				Vent arrière faible.			
NUMÉROS des observations.	ESPACES parcourus.	TEMPS observés.	DIFFÉRENCE des temps.	NUMÉROS des observations.	ESPACES parcourus.	TEMPS observés.	DIFFÉRENCE des temps.
0	0,0	31,60		10	1000,0	86,00	5,80
1	100,0	36,60	5,00	11	1100,0	91,80	6,20
2	200,0	41,65	5,05	12	1200,0	98,00	6,20
3	300,0	46,50	4,85	13	1300,0	103,90	5,90
4	400,0	52,10	5,60	14	1400,0	110,55	6,65
5	500,0	57,60	5,50	15	1500,0	117,00	6,45
6	600,0	63,20	5,60	16	1600,0	123,40	6,40
7	700,0	69,00	5,80	17	1700,0	130,20	6,80
8	800,0	74,40	5,40	18	1800,0	137,40	7,20
9	900,0	80,15	5,75				
			5,85				

Coordination et contrôle des résultats. — Un tableau tel que celui qu'on vient de transcrire donne évidemment, malgré les légères imperfections qu'on y découvre, une représentation très fidèle de la fonction considérée; il reste à exprimer cette fonction sous une forme continue qui permette de la soumettre aisément à l'analyse géométrique.

L'emploi des formules d'interpolation ne saurait trouver ici sa place. Pour y faire entrer tous les résultats de l'observation, on serait conduit à des calculs d'une complication formidable. Si, au contraire, on se contente de prendre quelques-uns d'entre eux, on perd tout le bénéfice de la précision apportée dans les observations. Il faut

chercher, non seulement à relier entre eux tous les résultats enregistrés, mais encore à les contrôler les uns par les autres, et à corriger ainsi les imperfections de détail qui se présentent inévitablement.

La solution de ce problème est fournie, de la façon la plus satisfaisante, par une opération *graphique*.

L'usage de représenter par une courbe la marche d'un phénomène physique est certainement très répandu, mais il est extrêmement rare qu'on demande à ce tracé tout ce qu'il est possible d'en tirer, et la raison en est d'abord dans une question d'exécution matérielle.

Toute ligne qui ne peut pas être obtenue au moyen de la règle et du compas est, en général, tracée au sentiment d'après un certain nombre de points marqués à l'avance. Or, s'il est vrai que le coup d'œil et l'habileté de main de l'opérateur peuvent donner parfois des résultats irréprochables, il y a certainement dans cette manière d'opérer quelque chose d'arbitraire qui s'accorde mal avec l'idée d'une opération mathématique, surtout lorsqu'il s'agit non plus de réunir entre eux certains points déterminés géométriquement, mais de trouver la ligne moyenne correspondant à des points obtenus par expérience et dont la position n'est pas absolument exacte ni la succession régulière.

Emploi de la latte ou règle flexible. — La solution de cette difficulté est obtenue d'une manière irréprochable par l'emploi de la latte flexible (*). Cette règle se place de

(*) Procédé rarement appliqué dans les bureaux de dessin, où il rendrait cependant de grands services. Il convient essentiellement au tracé de toutes les courbes qui, sans être définies géométriquement, sont néanmoins l'expression d'un phénomène continu ou doivent faire partie d'un ensemble assujéti à la loi de continuité. C'est sur son emploi que repose exclusivement le tracé des plans de navires qui n'offrent aucune surface susceptible de définition géométrique et doivent pourtant présenter en

champ sur la feuille de dessin, et on l'assujettit, au moyen de presses mobiles en plomb, à suivre l'allure générale indiquée par les points d'expérience, tout en conservant la continuité de forme qui résulte de sa texture moléculaire. Deux avantages extrêmement précieux ressortent de cette manière d'opérer. En premier lieu, le contrôle des points d'expérience se trouve dégagé de toute hésitation, de tout arbitraire. La latte elle-même indique et élimine par sa résistance à la flexion ceux des points qui ne seraient pas bien dans l'allure générale; en un mot, elle reconstitue le phénomène dans sa loi réelle de continuité.

D'autre part, elle permet, lorsque sa coïncidence avec la courbe a été parfaitement assurée, de tracer avec la pointe du crayon une ligne aussi fine et aussi nette que ce que donneraient la règle et le compas; condition indispensable pour qu'on puisse appliquer à ce tracé l'analyse géométrique.

La courbe E (Pl. VII, *fig. 2*) donne la traduction graphique ainsi obtenue du tableau numérique déjà pris pour exemple. On en déduit les temps corrigés qui se succèdent cette fois suivant une loi absolument continue.

tous sens des lignes d'une continuité irréprochable, réalisant le raccordement de trois sections principales données *a priori* dans trois plans perpendiculaires. La même méthode se retrouve dans l'exécution matérielle des pièces de la charpente du navire.

Les lattes pour dessin sont confectionnées en bois bien élastique, sain et de droit fil; longues de 1 à 2 mètres, larges de 10 à 15 millim. et d'une épaisseur en rapport avec la courbure des lignes qu'on aura à tracer. On en fait d'épaisseur uniforme, d'autres amincies aux extrémités, ce qui leur permet de se mieux prêter au tracé des lignes à courbure variable.

Tableau A bis.

Train composé de: 1 machine GV et son tender, Poids: 50r,0 Pente de 0 ^{mm} 5.				8 véhicules (fourgons et voitures) 85r,0			
Régulateur fermé.				Poids total. . . . 135r,0 Vent arrière faible.			
NUMÉROS des observations.	ESPACES parcourus.	TEMPS corrigés	DIFFÉRENCE des temps corrigés.	NUMÉROS des observations.	ESPACES parcourus.	TEMPS corrigés.	DIFFÉRENCE des temps corrigés.
0	0,0	31,60		10	1000,0	85,86	
1	100,0	36,64	5,04	11	1100,0	91,81	5,95
2	200,0	41,76	5,12	12	1200,0	97,87	6,06
3	300,0	46,96	5,20	13	1300,0	104,04	6,17
4	400,0	52,24	5,28	14	1400,0	110,34	6,30
5	500,0	57,61	5,37	15	1500,0	116,79	6,45
6	600,0	63,07	5,46	16	1600,0	123,40	6,61
7	700,0	68,62	5,55	17	1700,0	130,21	6,81
8	800,0	74,27	5,65	18	1800,0	137,29	7,08
9	900,0	80,02	5,75				
			5,845				

On peut encore accroître le degré de précision de cette méthode en opérant comme il suit.

A l'inspection directe des résultats observés on substitue le calcul et le tracé graphique de leurs différences pour des valeurs équivalentes de la variable principale. La loi de ces différences doit être continue comme celle de la fonction elle-même; mais le tracé étant fait à plus grande échelle, les écarts dus à des mesures d'observations y sont bien plus sensibles; le sentiment de la continuité permet de restituer sans hésitation une courbe qui rachète ces erreurs, en répartissant les écarts de part et d'autre de sa direction générale. Du tracé de cette courbe qui, au besoin, peut se faire à main-levée, on déduira les

différences corrigées; au moyen de leurs sommes partielles, on rétablira la loi du temps en fonction des chemins parcourus. Le détail de cette opération est figuré (Pl. VII, fig. 2, courbe Δ); les chiffres obtenus sont identiques à ceux de la première méthode, et il est facile de reconnaître qu'un peu d'indécision dans le tracé de la courbe Δ n'altérerait pas d'une façon appréciable les résultats.

Analyse graphique des résultats. — On a obtenu, au moyen des chiffres d'expériences contrôlés et corrigés graphiquement, la loi continue reliant le temps à l'espace parcouru.

$$e = f(t),$$

Il s'agit de déduire, par une double différentiation, la loi des efforts moteurs ou résistants qui n'est autre que celle des accélérations.

$$w = \frac{d^2 e}{dt^2} = f''(t),$$

On sait qu'une fonction quelconque étant représentée par l'ordonnée d'une courbe, dont les abscisses sont les valeurs de la variable principale, la fonction dérivée première s'obtient en prenant pour un point quelconque le coefficient angulaire de la tangente à la courbe. Cette fonction dérivée étant elle-même représentée par une courbe, la fonction dérivée seconde s'en déduit de la même manière.

En résumé, le problème géométrique proposé se réduit, dans le cas le plus général, à la construction successive de deux courbes et au tracé d'une série de tangentes dont on mesure les coefficients d'inclinaison.

Le tracé des tangentes est une opération qu'on considère ordinairement comme peu précise. Cela est vrai lorsque la courbe construite à petite échelle présente un rayon trop faible, ou que le trait en est incertain, comme il arrive presque inévitablement dans un tracé à main-

levée. Mais il est toujours loisible de construire à une échelle aussi grande qu'on voudra, une courbe définie par des données numériques; d'autre part, l'emploi de la latte assure absolument la netteté et la continuité du trait, qu'on peut faire extrêmement fin.

Dans ces conditions, le tracé des tangentes, et par suite le relevé des coefficients angulaires, peut se faire avec autant de précision que n'importe quelle opération géométrique.

Le procédé le plus usuel et qui, bien appliqué ne le cède en exactitude à aucun autre, consiste dans la simple application de la règle au contact de l'élément de courbe qui avoisine de part et d'autre le point considéré.

Un autre procédé très exact et qui semble moins laisser à l'appréciation, est le suivant (Pl. VI, fig. 15) :

Par le point donné m , mener une sécante détachant un segment mn de faible largeur; puis parallèlement à mn , une deuxième sécante st ; par les points u et v , milieu des cordes mn et st , mener une droite qui coupe la courbe en x , porter à partir de ce point $xz = xu : mz$ est la tangente cherchée. Cette méthode revient à assimiler la courbe donnée à la parabole du deuxième degré passant par les quatre points $mnst$.

Si on exécute la même opération de part et d'autre du point m , on a, pour déterminer la tangente en m , deux points qui doivent, comme vérification, se trouver en ligne droite avec le point m .

Enfin un procédé pour ainsi dire mécanique, et qui ne laisse rien à désirer comme justesse et facilité d'exécution, consiste à se servir de la latte elle-même, maintenue en position au moyen des plombs, ces derniers placés dans la concavité de la courbe. Sur le contour extérieur, on applique une règle présentant une encoche de quelques millimètres de longueur, de manière que le milieu e de cette encoche se présente juste en face du point m . La

direction de l'arête cf de la règle est celle de la tangente en m (Pl. VI, fig. 18).

La figure 2 (Pl. VII) donne le développement complet des opérations relatives à l'exemple numérique déjà cité. On remarquera que la courbe des vitesses V est tracée entre des limites un peu moins étendues que celles des espaces; de même la loi des accélérations F ou des forces n'a été calculée que pour la partie moyenne de la courbe des vitesses. On doit toujours opérer ainsi quand on veut une exactitude irréprochable des résultats. Les parties extrêmes d'une courbe construite par points présentent toujours un peu d'indécision, et cette incertitude affecterait sensiblement les opérations différentielles.

Application aux fonctions périodiques. — La fonction que nous avons prise pour exemple présentait, sous le rapport de sa traduction graphique, une forme extrêmement simple; c'est le cas le plus habituel des études dynamométriques appliquées à des efforts continus: les relations entre le temps, les espaces parcourus, les vitesses et les forces, se présentent ordinairement sous la forme de courbes à simple convexité, paraboliques et hyperboliques.

Il paraît utile, pour caractériser plus complètement la méthode qui nous occupe, d'en faire l'application à une forme de fonction un peu moins simple, mais qui se présente encore fréquemment dans l'étude des phénomènes physiques, et dont on a rencontré déjà dans cette étude plusieurs cas particuliers.

Nous voulons parler des mouvements de nature périodique ou ondulatoire, représentés en fonction du temps par des courbes à inflexion, plus ou moins analogue aux sinussoïdes.

Soit $ab\dots z$ une courbe de cette nature, dont l'ordonnée $y = f(t)$ représente la distance périodiquement

variable d'un point mobile à un point fixe. Il s'agit de déterminer la fonction différentielle deuxième $\frac{d^2y}{dt^2} = f(t)$ qui est la loi des forces auxquelles obéit le point mobile (Pl. VI, fig. 19).

On peut, suivant la règle générale, tracer d'abord par points suffisamment rapprochés la courbe différentielle première; puis déduire de celle-ci le tracé de la différentielle seconde. On observera que toute ordonnée maximum ou minimum de la fonction proposée donne un point d'ordonnée nulle de la fonction dérivée; tout point d'inflexion de la fonction proposée donne un point d'ordonnée maximum ou minimum pour la dérivée première, et un point d'ordonnée nulle pour la dérivée seconde.

Chacune des courbes différentielles est, en général, de forme sinusoïdale et de même période que la fonction elle-même.

On peut encore déduire directement les valeurs de la différentielle seconde sans passer par le tracé de la différentielle première.

Soit ab un élément infinitésimal de la courbe considérée, l'application de la règle générale se réduit à la construction suivante: mener les tangentes aux deux points a et b par le point d'intersection m de ces tangentes, mener une parallèle à l'axe des temps, sur laquelle on portera la valeur représentative de l'unité de temps (1 seconde) ou un multiple déterminé de cette unité mn ; mesurer sur l'ordonnée du point n le segment pq intercepté par les deux tangentes, la valeur de pq divisée par la différence des abscisses des points b et a , et par le nombre de secondes que représente le segment mn , est l'accélération du mouvement considéré (Pl. VI, fig. 16).

Les points d'*inflexion* de la courbe proposée donnent évidemment une accélération nulle.

Si on considère les sommets de la courbe ondulée, la construction se simplifie très avantageusement. En effet, cette courbe peut être considérée, suivant la loi générale des mouvements pendulaires, comme appartenant à la classe des sinusoïdes. Or, la sinusoïde est, au voisinage de son sommet, assimilable à la parabole osculatrice du 2^e degré avec laquelle elle a un contact du 3^e ordre. D'après une propriété connue de cette dernière courbe, la valeur de la différentielle seconde est l'inverse du paramètre p de la parabole. Si donc on mène à peu de distance du sommet une corde parallèle à l'axe ab ; soit on la flèche correspondante; le rapport $\frac{8on}{ab^2}$, égal à l'inverse du paramètre, donne la valeur de l'accélération (ab étant mesuré à l'échelle des temps) (Pl. VI, fig. 17).

Application aux relevés d'expériences dynamométriques. — Les diagrammes relevés avec les différentes sortes de dynamomètres, de même qu'avec l'indicateur de Watt, présentent le plus souvent, dans la totalité ou dans une partie de leur développement, l'aspect de courbes ondulées; cet effet résulte de causes passagères qui impriment au style indicateur des oscillations brusques entretenues ensuite par l'inertie.

Or, il est de principe que dans tous les appareils de cette nature l'ordonnée ne représente à l'échelle de l'instrument les forces qu'elle doit mesurer, que si les pièces mobiles sont, à l'instant considéré, sans vitesse ou plus exactement sans accélération relative. Pour tous les points où cette condition n'est pas réalisée, l'ordonnée doit être corrigée de la force d'inertie correspondante à l'accélération existante.

On vient de voir comment cette correction se déduit du tracé même du diagramme ondulé.

Lorsqu'on est assuré *à priori* que les forces dont on

recherche la mesure sont de nature continue et n'éprouvent que des variations lentes, et si, d'autre part, l'amplitude des oscillations est peu considérable, on peut simplifier l'application de la règle générale en considérant seulement les points d'inflexion pour lesquels on sait que la correction est nulle : la courbe continue passant par ces divers points représente la loi de l'effort cherché (Pl. VI, *fig. 5*).

Si la période des oscillations est extrêmement courte, on se bornera à tracer les courbes enveloppes supérieure et inférieure du trait ondulé et on prendra la ligne diamétrale de ces deux courbes (Pl. VI, *fig. 10*).

Ce mode de correction simplifié est toujours applicable aux mesures dynamométriques proprement dites, et notamment à celles qui ont pour objet la résistance des trains de chemin de fer ou autres appareils locomobiles.

Toutefois, lorsque l'on veut analyser rigoureusement certains phénomènes qui se développent dans un temps très court, tels que le démarrage de la machine ou le serrage d'un frein, il convient de recourir à l'application de la règle générale.

À l'égard du dynamomètre à force d'inertie, on observera que la masse mobile possède un mouvement, non de translation, mais de roulement; on devra, dans le calcul de la correction, tenir compte de la force vive de rotation par l'introduction du coefficient connu $\left(1 + \frac{\rho^2}{r^2}\right)$, r étant le rayon de roulement, et ρ le rayon de giration par rapport au centre de gravité.

Le cas de l'indicateur de Watt est un de ceux où l'intervention des forces d'inertie est la plus nuisible, et où il est le plus difficile d'en effectuer la correction, au moins pour les machines à mouvement rapide, à cause de la presque instantanéité des variations d'effort qui se produisent à l'ouverture et à la fermeture des lumières;

l'échelle des temps, qu'on est obligé de déduire d'abscisses proportionnelles aux fractions de course, se resserre vers les extrémités, c'est-à-dire dans la partie même où se passent les phénomènes les plus importants; la complication de pièces mobiles dont les divers éléments de masse présentent des accélérations différentes en grandeur et en direction est encore une cause de difficulté pour le calcul des forces d'inertie. On renonce ordinairement à ce calcul; mais une grande incertitude subsiste sur la valeur réelle des résultats déduits du diagramme.

On a cherché, pour éliminer ces causes d'erreurs, à réduire autant que possible ou même à supprimer l'inertie des pièces mobiles; c'est le principe de la solution, si remarquable à divers titres, adoptée par les ingénieurs du chemin de fer de l'Est.

Une solution plus simple consiste à constituer un appareil dans lequel l'évaluation de ces forces soit facile et précise, et où, pour mieux dire, elles interviennent comme éléments de mesure.

Indicateur de pression à force d'inertie. — À l'intérieur d'un cylindre vertical bien alésé et d'une assez grande hauteur, se meut librement un piston de faible diamètre, dont la tige supporte, par l'intermédiaire d'une traverse, un poids convenablement calculé. L'action de la vapeur s'exerce comme dans l'indicateur ordinaire, à la partie inférieure du cylindre. Un style mobile avec le piston trace les diagrammes sur un tambour animé d'un mouvement de rotation uniforme.

Sous l'action de la vapeur, le piston, qui reposait sur le fond du cylindre, se soulève et, pendant toute la période d'introduction, prend un mouvement accéléré; l'accélération diminue pendant la période de détente, puis s'annule et devient enfin négative: le mouvement progressivement ralenti change de sens; pendant la période

d'évacuation, la compression de la vapeur, bientôt suivie d'une nouvelle admission, ralentit le mouvement descendant, puis détermine une nouvelle période ascensionnelle (Pl. VI, *fig.* 11).

En résumé, le piston prend un mouvement de va-et-vient, dont on conçoit très bien que l'amplitude puisse être réglée (*) entre des limites convenables, de manière que, pour plusieurs oscillations successives, il se meuve entre les deux fonds du cylindre sans venir les atteindre.

Le diagramme se présente sous la forme d'une courbe ondulée telle que *a, b, c, d, e, f, ...* (Pl. VI, *fig.* 20). Cette courbe (dont il suffit de considérer l'une des périodes) renferme implicitement tous les éléments de la régulation. Il suffira d'appliquer la règle générale de double différentiation pour reconstituer le diagramme de Watt. L'opération se présente sous la forme la plus commode, et elle est susceptible d'autant plus de précision que rien n'empêche d'adopter, pour le temps comme pour les espaces, une échelle aussi grande qu'on le voudra. L'inertie des pièces mobiles est ici transformée en un élément de mesure. Sa valeur algébrique, ajoutée au poids du piston, mesure la tension de la vapeur à un instant quelconque.

CHAPITRE III.

MESURE DES VITESSES EN FONCTION DES TEMPS.

TACHYMÈTRE HYDROSTATIQUE. APPLICATION AUX MOTEURS FIXES ET AUX MACHINES-OUTILS.

Entre la méthode des accélérations et celle des espaces se place, avec un caractère intermédiaire, celle qui est fondée sur la mesure des vitesses.

(*) Les éléments desquels dépend cette amplitude sont : la section du piston mobile, son poids, la pression de la vapeur, la fraction d'introduction et surtout le nombre de coups de piston par seconde.

Dans cette méthode, comme dans celle des espaces, la loi des forces ne résulte pas directement de l'expérience : elle doit être déduite par voie d'analyse ; mais ici cette analyse se réduit à une différentiation du premier ordre.

Les phénomènes sur lesquels porte l'expérience doivent, de même que pour l'observation des espaces, être doués d'une certaine continuité et exempts de variations trop rapides ; mais, dans le cas actuel, cette condition est beaucoup moins rigoureuse. L'emploi d'appareils enregistreurs permet de suivre et d'analyser les mouvements d'une assez grande complication ; sous ce rapport, la méthode des vitesses se rapproche de celle des accélérations, sans toutefois atteindre le même degré de généralité.

Au point de vue expérimental, elle est nécessairement moins simple que la méthode d'observation des espaces qui n'exige aucun instrument de mesure autre qu'une montre de poche. Elle est moins simple aussi que celle des accélérations, en ce sens que les appareils tachymétriques, quels qu'ils soient, exigent toujours une commande mécanique, tandis que le dynamomètre d'inertie est complètement indépendant du mécanisme moteur et des essieux. Par contre, il est vrai de dire que les résultats des mesures tachymétriques se présentent sous une forme moins abstraite que ceux qui ont trait à l'accélération ; la méthode revêt plus facilement un caractère usuel. Elle se prête surtout avec avantage à l'étude des mouvements transmis par arbres tournants, principalement des moteurs d'ateliers et des machines-outils.

Le point essentiel est de réaliser un appareil tachymétrique qui soit, non comme on le demande d'ordinaire, un simple indicateur, mais un instrument de mesure précis et pratique.

La mesure des vitesses dans les systèmes mécaniques de toutes sortes, y compris les appareils de locomotion,

se ramène presque invariablement à celle de la vitesse de rotation d'un arbre moteur ou auxiliaire. Aussi a-t-on été presque toujours conduit à déduire cette mesure de l'action des forces centrifuges. Tantôt ces forces sont appliquées à un appareil à boules, ayant plus ou moins d'analogie avec le régulateur de Watt, tantôt elles agissent dans un milieu liquide, et leur action est mesurée par la hauteur d'une colonne manométrique.

Les appareils de la première classe, de forme pendulaire, ont le défaut de présenter une échelle décroissante, ordinairement trop faible aux grandes vitesses, alors que la précision des mesures est le plus nécessaire. On obvie à cet inconvénient par l'emploi de ressorts; mais on introduit par là des éléments de complication et d'incertitude.

Les appareils à forme manométrique sont, à ce point de vue, plus satisfaisants; toutefois on a toujours à craindre que leur graduation, purement empirique, se dérègle par suite d'une obstruction partielle des canaux ou de toute autre cause analogue.

La commande de ces appareils, ordinairement animés d'assez grandes vitesses, se fait presque toujours par courroie ou corde sans fin; ils ne sauraient constituer, dans ces conditions, des instruments de mesure précis. La commande par courroie est toujours sujette à des glissements, pour la correction desquels il ne suffit pas d'adopter un coefficient moyen empirique; car ces glissements sont variables avec les conditions atmosphériques, la trépidation des appareils, etc...; l'emploi de tendeurs, fort incommode, n'est qu'un palliatif insuffisant. La commande par engrenage est obligatoire pour tout instrument destiné à fournir des mesures tachymétriques précises.

Tachymètre hydrostatique. — Après divers essais, nous nous sommes arrêté à une forme d'appareil très simple

et qui nous a donné les meilleurs résultats (Pl. VI, fig. 13).

L'action de la force centrifuge s'exerce sur un vase de forme cylindrique ou ovoïde, contenant un liquide (eau ou mercure), et tournant autour de son axe vertical. Sous cette action, la surface de niveau primitivement horizontale, se déforme; elle se creuse au centre et s'élève sur les bords, affectant la forme rigoureusement exacte d'un paraboloides de révolution. Un flotteur, disposé dans l'axe du vase tournant, s'abaisse avec le niveau et, par le déplacement d'une tige montée dans son prolongement, mesure l'intensité de la force centrifuge correspondante aux valeurs variables de la vitesse.

La transmission qui relie l'arbre de couche, généralement horizontal, à l'axe de l'appareil hydrostatique, nécessairement vertical, est de la plus grande simplicité, et particulièrement commode sous le rapport du montage.

Pour les machines à mouvement peu rapide (jusqu'à 200 ou 300 tours) elle consiste simplement en un système de deux pignons d'angle montés sur une ferrure en équerre: l'axe de l'un d'eux porte une extrémité taraudée qui se visse en bout dans le prolongement de l'arbre moteur; l'axe du deuxième est prolongé par une tige de longueur arbitraire qui, placée verticalement, commande l'appareil hydrostatique; le montage n'exige, comme on le voit, aucune opération géométrique et se fait en quelques tours de clef (Pl. VI, fig. 14).

Pour les appareils à mouvement plus rapide pouvant atteindre 1.000 tours et au delà, la transmission comporte une vis sans fin et une roue striée pour réduire d'abord la vitesse de rotation; l'axe de la roue striée commande le système des deux roues d'angle. Le tout constitue un ensemble solidaire, et le montage se fait aussi simplement que dans le cas précédent, en vissant, suivant le prolongement de l'arbre moteur, l'extrémité taraudée du manchon à vis sans fin.

Dans le cas des locomotives, la commande se prend sur l'essieu couplé arrière par l'intermédiaire d'une fausse manivelle. Un renvoi de mouvement à angle droit permet de placer commodément l'appareil sous les yeux du mécanicien.

Pour les navires, la commande sera prise sur l'arbre moteur, sur celui des tiroirs, ou au besoin sur l'arbre de l'hélice, et renvoyée, par une tige verticale, sur la passerelle, à la vue du commandant.

L'expérience a montré que cet instrument, extrêmement simple, donne des résultats irréprochables et d'une grande précision. La masse liquide faisant elle-même volant, on n'a, même sur les locomotives aux plus grandes vitesses, aucune oscillation du flotteur pouvant rendre les lectures incertaines ou difficiles : et cependant, l'appareil indicateur obéit, dans un intervalle de temps pour ainsi dire inappréciable, à toute variation de vitesse effective.

L'échelle de l'appareil est fonction du tracé de la génératrice du vase tournant; on peut la rendre à volonté progressive, constante ou décroissante avec la vitesse.

Le zéro de l'échelle correspondant au niveau horizontal du liquide pris arbitrairement, si ce niveau venait à varier par perte de liquide, on le rétablirait sans aucune difficulté au moyen d'addition d'eau ou en réglant l'immersion d'un petit plongeur à vis.

L'instrument est rendu à volonté enregistreur par l'addition d'un style et d'un tambour à déroulement; la commande du tambour se fait par un rouage d'horlogerie, ou bien elle se prend sur le même axe que celle de l'appareil hydrostatique. Dans ce dernier cas, les abscisses du diagramme mesurent les nombres de tours; du nombre de tours effectués ou des vitesses enregistrées se déduit le temps.

Dans l'étude de la résistance des trains, l'emploi du

tachymètre se réduit à observer et à pointer au compteur chronographe, non plus des intervalles repérés sur la voie, mais les passages de l'index tachymétrique, aux différentes divisions de l'échelle; cette lecture donne la loi des vitesses en fonction du temps et, par différentiation simple, celle des accélérations ou des forces.

Application aux essais dynamométriques sur les moteurs d'ateliers et les machines-outils. — Le principe de cette étude a été posé à l'occasion de la mesure directe des accélérations; il s'agit de substituer au travail accompli par le moteur, ou absorbé par les organes, qui est l'inconnue du problème, un travail équivalent consistant seulement en une production d'accélération, ou ce qui revient au même, de force vive, aisément mesurable.

C'est au fond, la méthode du frein de Prony, dans laquelle le travail de l'inertie remplace celui du frottement; au frein dynamométrique, nous substituons le volant dynamométrique; la mesure des efforts est remplacée par la mesure des variations de vitesses obtenue au moyen de l'appareil tachymétrique.

On arrive aisément à réaliser, d'après ce principe, une installation maniable et peu encombrante, même pour la mesure des grandes puissances, contrairement aux appareils de freins qui atteignent inévitablement des dimensions fort gênantes. En donnant à la vitesse de rotation une valeur aussi grande que le permettent les éléments pratiques du problème, on peut réduire à un chiffre très faible le poids et le diamètre du volant.

Examinons ces données sur un exemple numérique.

Soit une machine de la puissance de 100 chevaux (chiffre déjà élevé pour un moteur d'atelier). Admettons qu'on le mette en connexion au moyen d'engrenages multiplicateurs, avec un volant de 1^m,40 de diamètre et

de 100 kilogrammes de poids (toute la masse étant supposée répartie sur la circonférence).

La connexion par engrenages, obligatoire pour éviter toute chance de glissement, impose une limite à la vitesse; toutefois, on peut parfaitement admettre pour le pignon monté sur l'axe du volant, et qui n'aura qu'un petit nombre de dents très robustes, une allure de 1.000 tours par minute.

Pour la mesure de la puissance totale du moteur, on procédera comme il suit: si l'allure normale est de 60 tours par exemple, on réglera l'introduction de vapeur de manière que cette allure puisse être soutenue en utilisant toute la puissance de la chaudière.

Cette condition étant réalisée, on introduira une résistance additionnelle quelconque (au besoin on étranglera pendant un instant l'admission de vapeur) de manière que la vitesse de rotation tombe par exemple à 50 tours. A ce moment l'introduction étant ramenée à sa valeur normale, on supprimera toutes les résistances en débrayant la commande générale, et, laissant le moteur en prise seulement avec le volant dynamométrique, on laissera la machine ainsi allégée, augmenter de vitesse; on arrêtera l'expérience lorsqu'on aura atteint, par exemple, 70 tours.

Soit T le temps qui aura été nécessaire pour passer de la vitesse initiale U_0 à la vitesse finale U_1 , l'une et l'autre relevées au tachymètre:

Soit en outre X la puissance de la machine en chevaux, à son allure normale (qui est la moyenne des allures extrêmes), P le poids du volant, f son rayon de giration, α le rapport de multiplication des vitesses, on a évidemment, pour le principe des forces vives:

$$75 \times X \times T = \frac{1}{2} \frac{P}{g} f^2 \left(\frac{V_1^2}{60^2} - \frac{V_0^2}{60^2} \right) 4 \pi^2 \alpha^2.$$

Appliquant les coefficients numériques admis plus haut:

$$75 \times 100 = T = \frac{1}{2} \frac{1.000}{g} \sqrt{0,7^2} \left(\frac{70^2 - 50^2}{60^2} \right) 4 \pi^2 \left(\frac{1.000}{60} \right)^2;$$

d'où $T = 25$ secondes environ.

L'appréciation de ce temps peut être faite aisément à 1/4 de seconde près, et par suite, l'évaluation de la puissance à 1/100 près.

On a supposé dans ce calcul que la puissance de la machine, pendant la durée entière de l'expérience, fut appliquée seulement à l'accélération du volant dynamométrique. Il y a lieu de tenir compte, en outre, de la masse de l'arbre lui-même avec son volant et la poulie de commande qui ne se désembrayent pas; il suffira de faire une deuxième expérience toute semblable, le volant dynamométrique étant désembrayé: soit T' le temps nécessaire pour le même accroissement de vitesse. L'inertie des pièces mobiles est à celle du volant: $\frac{T'}{T}$. La valeur trouvée pour la puissance doit être multipliée par le coefficient $\left(1 + \frac{T'}{T} \right)$.

De même qu'on a mesuré la puissance totale du moteur à son allure de régime, on pourra déterminer la portion de cette puissance dépensée par chaque partie de l'outillage qu'il commande.

On opérera de la même manière; mais au lieu de désembrayer la transmission générale, on se bornera à supprimer la commande de telle ou telle machine-outil ou de tel groupe, en ayant soin que les autres outils en prise continuent à travailler d'une manière régulière, et que le régime de la machine (pression de vapeur et introduction) ne change pas. En mesurant, comme plus haut, le temps correspondant à un accroissement donné de la vitesse, on aura la valeur du travail rendu disponible

par la suppression de l'outil ou du groupe d'outils considéré (*).

Cette méthode, extrêmement simple, se prête à toutes les vérifications ou répétitions d'expériences qu'on jugera convenable. On pourra même, dans certains cas, opérer avec le seul volant que possède généralement l'arbre moteur, à condition qu'on ait déterminé son moment d'inertie par un essai comparatif avec le volant dynamométrique.

DEUXIÈME PARTIE.

RÉSISTANCE DES TRAINS.

CHAPITRE I.

EXPOSÉ DU PROBLÈME. NÉCESSITÉ DE TENIR COMPTE DES FORMES ET DU GROUPEMENT DES VÉHICULES.

Équilibre dynamique d'un train de chemin de fer.

— Un train de chemin de fer à l'état de mouvement est en équilibre dynamique sous l'action des forces extérieures de toute nature qui lui sont appliquées et des forces d'inertie de tous les éléments de sa masse, ces dernières s'annulant dans le cas du mouvement uniforme.

Les forces extérieures sont motrices ou résistantes.

Il importe de définir, avec précision, les efforts qui se groupent sous l'une et l'autre de ces deux désignations.

(*) Il y a à tenir compte d'une correction pour l'inertie des parties tournantes de la commande générale et des outils eux-mêmes. Cette correction s'obtiendra comme pour la machine motrice, par une expérience à blanc.

Nous admettons que le mouvement ait lieu en palier; en d'autres termes, nous faisons abstraction de l'influence accidentelle de la gravité, l'action de cet agent naturel étant exactement connue et entièrement indépendante des autres éléments du problème.

Forces motrices. — Les forces motrices se réduisent à la somme des efforts tangentiels que les roues motrices et accouplées reçoivent par réaction du rail, sous l'action de la vapeur travaillant dans les cylindres. L'effort total ainsi défini, qu'on désigne habituellement sous le nom d'effort à la jante, est variable pendant la durée d'un tour de roue. Suivant une convention généralement adoptée et qui ne prête à aucune ambiguïté, on lui substitue l'effort moyen, c'est-à-dire la force de grandeur constante qui donnerait, dans la même période, le même travail dynamique.

L'effort ainsi défini est généralement positif, c'est-à-dire dirigé dans le sens du mouvement, pour la marche en avant de la machine. Il devient négatif dans le cas de la marche à contre-vapeur; il en est de même dans la marche à régulateur fermé, alors que le mécanisme, ne transmettant plus aucun effort de propulsion, n'agit que par ses résistances passives. Comme, dans tous les cas, l'effort considéré est celui qui est dû à la présence du moteur, il paraît logique de lui conserver la désignation d'effort moteur, étant entendu que sa valeur, dans certains cas, devient négative.

Forces résistantes. — Tous les autres efforts appliqués au train, tant véhicules que machine, et provenant soit du rail, soit de l'air extérieur, constituent le groupe des forces résistantes.

Résistance normale. — Parmi ces forces résistantes,

les unes ont un caractère normal et permanent; elles résultent de l'essence même des procédés appliqués à la locomotion. Elles ne peuvent ni s'annuler, ni pratiquement descendre au-dessous de certaines limites.

Leur ensemble constitue la résistance normale du train.

Ces forces sont : la résistance au roulement des bandages sur le rail, le frottement des essieux dans leurs coussinets, la résistance de l'air ambiant, enfin, les réactions latérales de la voie, notamment dans les parties courbes.

Résistances accidentelles. — En dehors de ces résistances essentielles, d'autres résultent de circonstances variables ou accidentelles, provenant soit de l'air atmosphérique, soit de la voie, soit du train lui-même; elles n'atteignent que rarement une valeur élevée, tandis que la plupart du temps leur action totale ne représente qu'une faible fraction de la résistance normale et devient même insensible dans des conditions de marche bien régulières. Telles sont : l'agitation de l'atmosphère, les chocs dus aux inégalités de la voie et au mouvement de lacet, le serrage partiel ou total des freins, le grippement des parties frottantes, etc..... Nous résumons toutes ces résistances, quelle que soit leur nature, sous le nom de résistances accidentelles.

Nous devons, ici, nous attacher spécialement à la considération de la résistance normale.

Étude de la résistance normale. — Il conviendrait, dans une étude théorique, de soumettre à une analyse détaillée chacun des éléments dont la combinaison aboutit à la résistance totale. Ainsi la résistance au roulement peut être considérée au point de vue du diamètre des roues, de la charge qu'elles supportent, de la nature du métal des bandages et du rail, de la disposition de la

voie (système des joints, écartement des traverses, bourrage, etc.). De même le frottement des fusées peut être étudié au point de vue de leur diamètre, de leur longueur, de la charge par unité de section, de la nature de l'enduit graisseur, etc. En ce qui concerne la résistance de l'air, le problème présente des faces non moins diverses.

Une étude analytique ainsi conçue présenterait certainement un grand intérêt; les procédés simples que nous avons décrits sont de nature à faciliter beaucoup l'exécution d'un programme aussi étendu. Mais dans le cadre restreint de cette notice nous devons nous borner à considérer, à son point de vue pratique, la résistance totale des trains, en acceptant le groupement des éléments de cette résistance tel qu'il se présente dans la réalité, et ne décomposant la question que dans le cas où cette analyse est absolument indispensable pour arriver à des conclusions correctes.

Dans cet ordre d'idées, nous pouvons considérer comme une seule force l'ensemble des résistances dues au roulement de la jante et au glissement de la fusée, nous conformant à l'usage qui réunit ces forces sous le nom de résistance au roulement.

La légitimité de cette association résulte de la similitude approximative qui existe entre les éléments de l'une et de l'autre de ces résistances pour les différents types de véhicules, y compris, sous certaines réserves, les machines elles-mêmes. Pour le roulement proprement dit, comme pour le frottement des fusées, on peut admettre la proportionnalité des efforts à la valeur du chargement. Cette hypothèse se traduit par l'adoption d'un coefficient de résistance par tonne.

Mais il en est tout autrement en ce qui concerne l'effort résultant de la progression du train dans l'air ambiant. Cette résistance varie dans de très larges propor-

tions, non avec la charge, mais avec les formes et le groupement géométrique des véhicules. L'évaluation en fonction du tonnage, appliquée dans ce cas, ne présenterait aucune signification nette. Si, d'ailleurs, on observe que l'élément considéré est de beaucoup prépondérant dans l'évaluation de la résistance totale, au moins pour les trains de vitesse, on reconnaîtra qu'il est nécessaire de donner pour base à l'étude pratique des résistances l'analyse des conditions géométriques de formation du train.

La marche adoptée dans nos expériences n'est que le développement rationnel de ce principe.

Classification des trains au point de vue géométrique.

— *Train élémentaire.* — Les trains de toute nature se divisent, par la nature de leur service, en deux classes :

- 1° Trains de voyageurs ;
- 2° Trains de marchandises.

La même division est motivée au point de vue des résistances, non seulement par la différence de vitesse, mais surtout par la présence habituelle, dans les trains de marchandises, de wagons plats ou à chargement irrégulier, tandis que les trains de voyageurs sont généralement formés de véhicules ayant un gabarit presque identique et groupés d'une manière compacte.

Si nous considérons, en premier lieu, un train de voyageurs dans les conditions précitées, c'est-à-dire composé de véhicules de formes à peu près identiques, se succédant sans interruption, nous pouvons, au point de vue de la résistance, le décomposer d'une manière fort simple : imaginons une série de sections transversales passant par le milieu de tous les véhicules, depuis le fourgon de tête jusqu'au fourgon d'arrière ; ces sections partagent le train en une série d'éléments identiques comme forme et comme groupement et qu'on peut, par suite, considérer

comme étant d'égale résistance. Le nombre en est égal à celui des véhicules (machine et tender non compris) diminué d'une unité (Pl. VI, *fig. 9*).

Quant aux deux portions de train situées au delà des sections extrêmes, elles se présentent, soit comme forme, soit comme position, dans des conditions toutes spéciales. On peut les considérer séparément ou, pour plus de simplicité, les réunir en un certain groupe qui doit être l'objet d'une étude particulièrement approfondie.

On remarquera, d'ailleurs, que la part spéciale de résistance afférente à la moitié arrière du fourgon arrière (*), peut être attribuée, par la pensée, au fourgon de tête. Par suite, on est conduit à cette conception extrêmement simple.

Tout train de voyageurs est composé :

1° D'un train de forme invariable et de longueur minimum formé de la machine, de son tender et d'un fourgon, que nous appelons train élémentaire, et qui réunit toutes les résistances spéciales.

2° D'une série d'éléments géométriquement identiques et, par suite, d'égale résistance correspondant à chacun des véhicules attelés en arrière du fourgon.

Cette conception n'implique pas l'égalité de chargement des wagons ; d'après les lois admises en ce qui concerne l'influence de la charge, la répartition du poids entre les véhicules ne modifie pas la résistance totale ; l'égalité de répartition peut donc être admise pour la commodité du langage.

Nous avons en résumé, deux éléments de résistance à étudier :

(*) Nous ne mentionnons cette résistance que pour la généralité du raisonnement. En fait la résistance sur le plan arrière, qui est énorme pour la progression dans un milieu liquide, est très faible, même aux grandes vitesses, dans l'air atmosphérique.

1° La résistance du train élémentaire dans son ensemble ;

2° Celle d'un véhicule quelconque d'un train de longueur variable.

Deux séries d'expériences effectuées sur deux trains de composition différente, par exemple sur le train élémentaire et sur un autre train quelconque, permettront de déduire la valeur de ces deux éléments.

Si de la considération des trains de voyageurs nous passons à celle des trains de marchandises, la présence des wagons plats, ordinairement répartis d'une manière très irrégulière, rend plus difficile un groupement méthodique. D'autre part, la considération des formes présente ici une importance moins grande à cause de la vitesse réduite.

Nous traiterons d'abord la question des résistances au point de vue des trains de voyageurs à véhicules régulièrement groupés. Quand nous aurons obtenu à cet égard des conclusions nettes, nous verrons dans quelle mesure et par quelles analogies elles pourront être étendues aux trains de marchandises à composition variable.

CHAPITRE II.

ÉTUDE DU TRAIN ÉLÉMENTAIRE : MACHINE-TENDER-FOURGON.

Cette étude sera divisée en deux parties.

Nous considérerons d'abord le train marchant à des vitesses assez faibles pour que la réaction de l'air ambiant n'ait sur la résistance totale qu'une influence minime, ou même négligeable. Les expériences exécutées dans ces conditions feront ressortir les coefficients relatifs à l'ensemble des efforts que nous avons appelés résistance au roulement. Ensuite, par une série d'expériences faites en marche et poussées jusqu'aux limites

extrêmes de vitesse, nous chercherons à dégager la loi si importante de la résistance de l'air.

A. Expériences à faible vitesse.

Étude de la résistance au roulement.

Ces expériences peuvent être faites sur des voies de service, pourvu qu'on dispose d'une longueur de 150 à 200 mètres en palier, ou ayant une faible inclinaison uniforme, sans courbes ni appareils de voie. Il est essentiel que la voie soit bien posée et régulière, que le rail soit propre, débarrassé de gravier, d'escarbilles et de matières grasses.

On peut observer que la résistance de l'air ambiant étant insensible par suite de la faible vitesse admise pour l'expérience, les essais étant d'ailleurs supposés faits en temps calme, la machine et son tender, ainsi que le fourgon qui complète le train élémentaire, interviennent chacun pour leur résistance propre. Dans ces conditions, il est indifférent d'opérer séparément sur la machine et son tender d'une part, et de l'autre sur le fourgon ou sur tout autre véhicule analogue non attelé ; ce qui, au point de vue pratique, facilitera sensiblement les expériences.

On pourrait opérer de même sur la machine et sur son tender séparés ; il est, en effet, intéressant de connaître la part de l'un et de l'autre dans la résistance totale. Cette étude a fait l'objet de quelques essais, suffisants pour le but proposé. Mais dans la généralité des cas les expériences ont eu lieu avec la machine attelée à son tender, c'est-à-dire dans les conditions mêmes de la pratique.

La locomotive peut être considérée en tant que véhicule progressant sur les rails par l'intermédiaire de ses roues, ou bien dans son ensemble, y compris les pièces

de mécanisme, dont le mouvement accompagne celui des roues, soit comme cause, soit comme effet, et donne lieu à des résistances spéciales.

En conséquence, pour suivre une marche absolument logique, nous aurions à considérer d'abord les machines avec leur mécanisme démonté, y compris les bielles d'accouplement; elles recevraient, soit d'une machine en feu, soit par tout autre moyen, la propulsion initiale. Des expériences de cette nature ne présentent pas de difficulté; les circonstances mêmes du service en fournissent parfois l'occasion; nous en relaterons quelques-unes.

Mais il est infiniment plus commode d'opérer sur des machines pouvant se remorquer elles-mêmes, par conséquent toutes montées et en feu. Pour chaque expérience, on ouvre légèrement l'introduction, de manière à obtenir la vitesse initiale convenable (6 à 8 kilomètres), puis fermant le régulateur, on observe l'arrêt de la machine sur sa résistance propre.

Les chiffres déduits de cette expérience représentent évidemment la somme de la résistance du véhicule et des frottements additionnels introduits par le mécanisme moteur et d'accouplement, ces frottements étant rapportés à la jante; ce dernier groupe de résistance, ainsi qu'on l'a déjà fait observer, ayant pour origine le mécanisme de propulsion, doit être considéré comme un terme négatif de l'effort moteur; mais en fait, il est inséparable de la machine en service, même marchant sans vapeur, de sorte que le résultat brut des essais, bien que formé d'éléments disparates, est en résumé le coefficient caractéristique de chaque machine, rendant compte de ce qu'on nomme son degré de liberté, en d'autres termes, de l'état de montage, de lubrification et d'entretien de toutes ses parties mobiles.

L'évaluation de la part de résistance afférent au mé-

canisme résultera de la comparaison entre les deux résultats observés sur une même machine ayant les bielles motrices et d'accouplement successivement montées et démontées (page 553).

Nous avons opéré sur les quatre séries de machines affectées au service régulier de nos trains.

1 ^o Machines à grande vitesse à 3 essieux dont 2 accoup.	— Roues de 2 ^m ,020 de diamètre		
2 ^o Machines mixtes à 3 essieux accouplés.	—	1,510	—
3 ^o Machines à marchandises à 3 essieux accouplés.	—	1,320	—
4 ^o — 4 essieux accouplés.	—	1,270	—

Dans chacune de ces séries, nous avons expérimenté un certain nombre de machines prises au hasard en service courant.

1^{re} méthode. — *Emploi du dynamomètre d'inertie.* — L'appareil dynamométrique, renfermé dans sa boîte, est disposé sur la plate-forme du tender, parallèlement à l'axe de la voie, et solidement fixé pour empêcher les ressauts dus aux réactions du rail.

On ouvre doucement le régulateur de manière à obtenir une vitesse de 10 kilomètres environ; puis on le ferme vivement et on laisse la machine ralentir et s'arrêter d'elle-même sans l'intervention du frein du tender.

Pendant ce mouvement, l'appareil a fourni un diagramme dont l'aspect général est le suivant (Pl. VI, fig. 21).

De *a* en *b*, période d'admission de la vapeur: ordonnée positive de valeur considérable, variable d'ailleurs avec le degré d'introduction.

De *b* en *c*, marche à régulateur fermé jusqu'à l'arrêt: ordonnée négative mesurant à l'échelle de l'instrument la résistance totale *R* (sauf correction des parties tournantes, page 502).

Cette courbe présente parfois, malgré l'action modératrice du frein à eau, des oscillations plus ou moins pro-

noncées; elles résultent de la variation effective de la résistance autour de sa valeur moyenne, variations dues soit au passage de la machine sur les joints des rails, soit au jeu des contre-poids d'équilibre du mécanisme.

Ces oscillations, dont l'étude présente en elle-même un grand intérêt, sont étrangères à l'objet immédiat de notre étude; nous considérerons seulement ici la ligne moyenne, ou, si l'on veut, celle qui laisse de part et d'autre des segments superficiels équivalents. L'ordonnée de cette ligne, très sensiblement constante pendant la marche sans vapeur, en raison de la faible vitesse, mesure la résistance totale moyenne.

La même épreuve étant renouvelée trois ou quatre fois alternativement en avant et en arrière, on aura autant de diagrammes devant donner des ordonnées égales, soit positives, soit négatives, et par suite se contrôlant entre eux (Pl. VII, *fig.* 3).

On sait que, pour ce mode d'opérer, il n'est pas nécessaire que la cote d'inclinaison de la voie soit connue, ni même que cette inclinaison soit constante, l'action de la gravité étant éliminée par l'instrument lui-même.

2^e méthode. — Emploi du compteur chronographe. — La machine étant, comme dans le cas précédent, lancée à une faible vitesse, puis abandonnée à elle-même, on compte les tours de roues en pointant, sur le cadran du chronographe, l'instant précis où l'une des pièces du mouvement (par exemple le patin de crosse de l'un des pistons) se présente en face d'un point de repère choisi à l'avance. Pour cette observation, l'expérimentateur peut être placé, soit sur la plate-forme de la machine, soit de préférence à terre, à quelque distance de la machine et vers le milieu de l'intervalle qu'elle doit parcourir. Cet intervalle sera de 100 à 150 mètres, parcours qui permet, avec une machine à grandes roues, de compter sé-

parément 20 à 25 tours, chiffre suffisant pour une observation très précise.

Aussitôt une opération chronométrique effectuée, on en transcrit les résultats et on recommence l'expérience en sens inverse, dans les mêmes conditions. Cette contre-épreuve est indispensable, à moins qu'on ne connaisse très exactement (*) l'inclinaison de la voie. La moyenne des résultats déduits de deux parcours en sens inverse donne la résistance R cherchée. Leur différence correspond à l'inclinaison de la voie.

Afin d'avoir un contrôle efficace des résultats, il convient, pour une même machine, de faire quatre parcours, deux en chaque sens.

La traduction graphique et l'analyse des résultats se feront par la méthode décrite en détail dans la première partie (chap. II).

En raison de la faible vitesse à laquelle on a opéré, on peut admettre, *à priori*, que la résistance est la même sur toute la longueur du parcours et, par suite, se contenter de la détermination de l'accélération moyenne. La courbe des espaces étant tracée d'après les chiffres d'expérience rectifiés, on aura à mener deux tangentes et à prendre la différence de leurs coefficients angulaires. On peut même opérer par un simple calcul, en considérant la variation de vitesse moyenne entre deux points pour un certain intervalle de temps.

(*) L'approximation de ce mode de mesure n'est pas moindre de 1/10 de kilogramme par tonne.

La cote d'inclinaison de la voie devrait donc être connue au moins à 1/10 de millimètre près.

Exemple :

Observation du mouvement ralenti d'une machine à grande vitesse marchant à régulateur fermé.

Poids de la machine. 36r Diamètre des roues 2^m,020
 Poids du tender . . . 16r Intervalle des observations : un tour de roues. 6^m,34
 Total 52r

NUMÉROS des observa- tions.	TEMPS		
	observé.	corrigé.	
1	58',42	58',40	
2	1 ,05	1 ,05	
3	3 ,65	3 ,75	Vitesse moyenne (entre les observations n ^{os} 2 et 4)
4	6 ,60	6 ,53	
5	9 ,45	9 ,45	Vitesse moyenne (entre les observations n ^{os} 8 et 10)
6	12 ,62	12 ,50	
7	15 ,32	15 ,63	Accélération moyenne W (entre les observa- tions n ^{os} 3 et 9)
8	18 ,70	18 ,95	
9	22 ,25	22 ,40	
10	26 ,15	26 ,00	
11	29 ,65	29 ,80	
12	33 ,70	33 ,80	

$$\left. \begin{aligned} &= \frac{2 \times 6^m,34}{6,53 - 1,05} = 2^m,30 \\ &= \frac{2 \times 6^m,34}{26,0 - 18,95} = 1^m,80 \\ &= \frac{2,30 - 1,80}{22,40 - 3,75} = 0^m,027 \end{aligned} \right\}$$

$\frac{W}{g} = \frac{0^m,027}{9,8} = 0,0027$, soit une résistance de 2^k,700 par tonne.
 + 1/10 pour les parties tournantes. 0^k,270
 2^k,970

On pourrait encore calculer l'accélération moyenne par le théorème des forces vives.

Appliquons, entre les mêmes limites de vitesse, la formule du travail; nous avons :

$$2(9 - 3) \times 6^m,34 \times W = 2,30^2 - 1,80^2,$$

d'où :

$$W = 0,027,$$

même résultat que pour la première méthode.

Au lieu d'opérer entre deux vitesses, dont la dernière n'est pas nulle, il serait plus simple, au point de vue des

calculs, de poursuivre l'observation jusqu'à l'arrêt complet, et de prendre pour vitesse finale : zéro.

Mais cette manière d'opérer donnerait des résultats incorrects.

L'instant de l'arrêt d'une machine est fortement influencé par la position des pièces mobiles, qui rend très irrégulière la fin du parcours. Même en supposant un véhicule dont les roues et les essieux seraient parfaitement équilibrés, la vitesse, au moment qui précède immédiatement l'arrêt, n'est généralement pas nulle. La voie et les bandages présentent des aspérités, dont les plus importantes sont les joints des rails que le véhicule roulant doit surmonter; lorsque sa force vive est assez réduite pour ne pas lui permettre de fournir le travail correspondant à la hauteur de l'obstacle, la vitesse est annulée subitement, et tend même à devenir négative. Il est aisé de reconnaître que quelques grains de sable peuvent ainsi détruire instantanément une vitesse de 0^m,10 à 0^m,20, soit une fraction importante de la vitesse initiale.

Si on opère par le théorème des forces vives, cette cause d'erreur a moins d'importance parce que le chiffre de la vitesse finale entrant au carré dans la formule, son influence est relativement faible.

Il n'y a pas lieu, dans le cas actuel, de mentionner l'emploi de la méthode tachymétrique; une machine à faible vitesse possède toujours un mouvement *périodique* et saccadé qui produirait sur l'index du tachymètre des oscillations notables et, par suite, rendrait difficile la lecture d'un chiffre moyen.

Quel que soit le mode d'observation et de calcul adopté, l'expérience, quoique très simple, exige pour donner des termes de comparaison précis, certaines précautions essentielles, dont il n'a pas toujours été suffisamment tenu compte dans des expériences analogues.

1° *État de la voie.* — L'état de la voie doit être, sinon parfait, du moins équivalent à l'état moyen des lignes sur lesquelles la machine est appelée à circuler en service courant.

Cette condition n'est souvent réalisée que d'une manière bien imparfaite dans les gares et, notamment, sur les voies de dépôt. Un défaut de bourrage, ayant pour effet de faire serpenter le rail sous la charge des machines, des joints mal réglés, produisant un choc à la rencontre de chaque roue, augmentent la résistance dans une proportion qui peut être très notable. Les escarbilles, le gravier, qui se trouvent souvent en quantités considérables sur les voies assujetties au passage continu des hommes et des machines, produisent le même effet. Il est donc essentiel pour une expérience précise, non seulement de choisir une voie bien posée et bien réglée, mais encore d'avoir fait nettoyer le rail avec soin.

La voie peut être inclinée, pourvu que la pente soit uniforme; si elle présente des creux et des saillies, même peu prononcés, la méthode des parcours inverses ne suffit pas pour corriger les résultats de l'expérience chronométrique qui peuvent se trouver gravement altérés.

2° *État de la machine.* — Les expériences sont supposées faites sur une machine en bon état et parfaitement libre. On doit donc s'assurer préalablement que les garnitures n'ont pas de serrage anormal, que les fusées et coussinets ne sont pas grippés, que le graissage est suffisant et, surtout, que le frein du tender n'exerce aucun frottement. Cette dernière observation, qui pourrait paraître superflue a, en réalité, une extrême importance, et peut-être ne doit-on attribuer à aucune autre cause qu'à un défaut de liberté du frein, certains cas de résistance anormale qu'on relève dans les comptes rendus d'expériences.

La machine doit, non seulement, être en bon état de service, mais avoir accompli un certain parcours depuis l'allumage, de manière à mettre toutes les parties du mécanisme dans leur état de graissage et de température normale. Une machine froide et prise au repos, quoique bien graissée, possède un surcroît de résistance qui, dans diverses observations, n'a pas été trouvé moindre de 30 à 50 p. 100.

Diverses machines sortant de réparation ont donné, à leur premier voyage, des chiffres de résistance presque doublés.

3° *État de l'atmosphère.* — L'existence d'un vent même modéré a une très grande influence sur la résistance d'une machine en marche, même à faible vitesse. Un vent dirigé en sens contraire de la marche et dont la vitesse serait seulement de 5 mètres à la seconde, suffirait pour doubler la résistance dans un parcours effectué à la vitesse moyenne de 8 kilomètres. D'autre part, on observera que la méthode des parcours inverses ne donne ici qu'une compensation très imparfaite.

Il est donc essentiel d'opérer par temps calme. Si on n'a pas pu faire l'expérience absolument sans vent, il est indispensable d'en noter avec soin la direction et la force approximative. On ne devra faire qu'un usage très réservé des chiffres obtenus dans ces conditions.

Résultats d'expériences.

a. — *Machines à grande vitesse.*

Les machines auxquelles se rapportent nos expériences sont du type adopté sur le réseau d'État pour tous les trains de voyageurs.

Les principaux éléments, intéressant la résistance, sont les suivants :

		DIAMÈTRE. mètres	LONGUEUR. mètres	DIAMÈTRE. mètres
Machine.	Roues A (porteuses)...	1,510	Fusée . . . 0,25	0,185
	Id. M (motrices)...	2,020	Id. . . . 0,25	0,185
	Id. A (accouplées)...	2,020	Id. . . . 0,25	0,185
Tender.	Id. A et R.	1,420	Id. . . . 0,24	0,13
Poids moyen.	Machine.	36 ^T	Cylindre.	Diamètre. 0,44
	Tender.	16		Course . . 0,65
Total		52 ^T		

Toutes ces machines sont à mouvement extérieur. Au point de vue du mécanisme de distribution, elles sont de deux systèmes différents : les unes ont les tiroirs plats ordinaires avec coulisse Stéphenson; les autres sont munies de tiroirs cylindriques avec soupapes de rentrée d'air commandés par une distribution Walchaërts. Les machines du premier type étaient graissées à l'huile de colza, les dernières à l'huile oléonaphte.

TABLEAU N° I.

Résistance propre de diverses machines à voyageurs (4 roues couplées de 2^m,020) marchant à régulateur fermé (vitesse comprise entre 8 et 4 kilom. à l'heure).

MODE d'observation.	SENS du parcours.	RÉSISTANCE		MODE de graissage.	ÉTAT de l'atmosphère.	OBSERVATIONS.
		moyenne par tonne de machine et tender.	totale en kilogr.			
1° Machines à tiroirs plats.						
Chronomètre.	N.-S.	2,75	154,440	Colza.	Calme ou faible brise.	Tours.
	S.-N.	3,20				
Id.	N.-S.	2,60	145,600	Id.	Id.	Tours plats. Coulisse Stéphenson.
	S.-N.	3,30				
	N.-S.	2,80				
	S.-N.	2,90				
Dynamomètre d'inertie.	O.-E.	3,70	174,200	Id.	Id.	Thouars.
	E.-O.	3,10				
	O.-E.	3,50				
	E.-O.	3,10				
2° Machines à tiroirs cylindriques.						
Chronomètre.	N.-S.	2,30	132,600	Oléo- naphte.	Calme ou faible brise.	Tours.
	S.-N.	2,80				
Id.	N.-S.	1,90	132,600	Id.	Id.	Id.
	S.-N.	3,20				
Dynamomètre d'inertie.	N.-S.	2,65	133,640	Id.	Id.	Id.
	S.-N.	2,65				
	N.-S.	2,60				
	S.-N.	2,40				
Chronomètre.	N.-S.	3,00	172,640	Id.	Id.	Id.
	S.-N.	3,60				
	N.-S.	3,10				
	S.-N.	3,60				
Id.	N.-S.	1,60	130,000	Id.	Id.	Id.
	S.-N.	3,40				
Id.	S.-N.	3,30	135,200	Id.	Id.	Saintes.
	N.-S.	1,90				

b. — Machines mixtes (3 essieux couplés).

Les éléments principaux de ces machines sont les suivants :

	DIAMÈTRE.	LONGUEUR.	DIAMÈTRE.
	mètres	mètres	mètres
Machine. {	Roues <i>N</i> (accouplées).	Fusée 0,24	0,47
	Id. <i>M</i> (motrices) . . .		
	Id. <i>R</i> (accouplées).		
Tender. |	Id. <i>N</i> et <i>R</i> 1,120	Id. 0,24	0,43
Poids {	Machine. 32 ^r	Cy- {	Tiroirs plats. 0,42
	moyen. { Tender 16			lindre. { Di- { Tiroirs cylindriques. } 0,47
Total	48 ^r	Course.	0,60

Grand mouvement extérieur, tiroirs intérieurs. Cou-lisse Stéphenson.

TABLEAU N° II.

Résistance propre de machines mixtes (6 roues accouplées de 1^m,510) marchant à régulateur fermé (vitesse comprise entre 8 et 4 kilom. à l'heure).

NUMÉROS des machines.	MODE d'observation.	SENS du parcours.	RÉSISTANCE		MODE de graissage.	ÉTAT de l'atmosphère.	OBSERVATIONS.	
			moyenne par tonne de machine et tender.	totale en kilogr.				
1° Machines à tiroirs plats.								
3039	Chronomètre.	E.-O. O.-E.	3,80 3,40	3,60	172,800	Colza.	Calme ou faible brise.	Thouars.
3039	Dynamomètre.	O.-E. E.-O.	3,50 3,70	3,60	172,800	Id.	Id.	Id.
2° Machines à tiroirs cylindriques.								
3565	Chronomètre.	N.-S. S.-N. N.-S. S.-N.	3,40 3,30 4,20 3,30	3,35 3,55	170,400	Oléo-naphte.	Calme ou faible brise.	Niort.
3566	Id.	E.-O. O.-E.	4,50 2,80	3,65	175,200	Id.	Id.	Id.

c. — Machines à marchandises (3 essieux couplés).

Données principales :

	DIAMÈTRE.	LONGUEUR.	DIAMÈTRE.
	mètres	mètres	mètres
Machine. {	Roues <i>N</i> 1,32	Fusée 0,25	0,18
	Id. <i>M</i> 1,32		
	Id. <i>R</i> 1,32		
Tender. |	Id. <i>N</i> et <i>R</i> 1,12	Id. 0,24	0,43
Poids moyen. {	Machine. 36 ^r	Cylindre. {	Diamètre. 0,45
	Tender. 16			Course. . . . . 0,65
Total	52 ^r		

Tout le mouvement est extérieur.

TABLEAU N° III.

Résistance de machines à marchandises (6 roues accouplées de 1^m,320) marchant à régulateur fermé (vitesse comprise entre 8 et 4 kilom. à l'heure).

MODE d'observation.	SENS du parcours.	RÉSISTANCE		MODE de graissage.	ÉTAT de l'atmosphère.	OBSERVATIONS.	
		moyenne par tonne de machine et tender.	totale en kilogr.				
Machines à tiroirs plats.							
Chronomètre.	E.-O. O.-E. E.-O. O.-E.	5,80 4,30 5,00 2,90	5,05 4,50 3,85	4,50	234,000	Colza. Calme ou faible brise.	Loudun.
Id.	E.-O. O.-E. E.-O. O.-E.	5,30 4,90 4,90 4,80	5,10 4,97 4,85	4,97	258,440	Id.	Id.
Id.	E.-O. O.-E.	4,50 4,90	4,70	4,70	244,400	Id.	Id.

Cou-lisse Stéphenson.

d. — Machines à 4 essieux couplés.

Données principales :

		DIAMÈTRE.	LONGUEUR.	DIAMÈTRE.
		mètres	mètres	mètres
Machine.	Roues A (accouplées).	1,27	Fusée. 0,25	A. 0,18
	Id. MA id.	1,27	Id. 0,25	AM 0,18
	Id. MA (motrices).	1,27	Id. 0,25	AM 0,20
	Id. A (accouplées).	1,27	Id. 0,25	A. 0,18
Tender.	Id. A et A.	1,42	Id. 0,24	0,13
Poids moyen.	Machine.	54 ^r	Cylindre.	Diamètre. 0,54
	Tender.	16		Course. 0,66
Total.		70 ^r		

Toutes ces machines sont à distribution cylindrique et mouvement extérieur.

TABLEAU N° IV.

Résistance des machines à marchandises (8 roues accouplées de 1^m.27 de diamètre marchant à régulateur fermé (vitesse comprise entre 8 et 4 kilom. à l'heure).

NUMÉROS des machines.	MODE d'observation.	SENS du parcours	RÉSISTANCE		MODE de graissage.	ÉTAT de l'atmosphère.	OBSERVATIONS
			moyenne par tonne de machine et tender.	totale en kilogr.			
Machines à tiroirs cylindriques.							
4012	Chronomètre.	N.-S. S.-N.	4,20 4,60	308,000	Oléo- naphte.	Calme ou faible brise.	Aigrefeuille
4001	Id.	N.-S. S.-N.	3,00 4,60	266,000	Id.	Id.	Id.
4009	Id.	N.-S. S.-N.	3,40 4,60	280,000	Id.	Id.	Id.
4014	Id.	N.-S. S.-N.	4,40 5,50	346,500	Id.	Id.	Id.
4023	Id.	N.-S. S.-N.	3,70 4,90	301,000	Id.	Id.	Id.

L'examen de ces tableaux donne lieu à diverses observations. On remarquera d'abord que, pour chaque type de machine, les résultats se groupent presque toujours, avec de faibles différences, au voisinage du chiffre de résistance minimum. Quelques cas isolés offrent, au contraire, un écart parfois considérable. Par exemple, dans le tableau n° I-2°, la machine 2082 donne pour l'un de ses essais une différence de 50 p. 100 environ, avec le chiffre minimum, tandis que l'écart extrême, pour toutes les autres machines, est de moins de 10 p. 100. Dans ces conditions, l'établissement d'une simple moyenne arithmétique serait peu propre à caractériser le type de machine considéré.

Le chiffre de la résistance normale est évidemment celui qui correspond à des machines en parfait état de montage et d'entretien et qui, par suite, se tiennent toujours au voisinage du minimum. Il conviendrait même d'adopter le chiffre le plus faible en valeur absolue, si on n'avait à tenir compte de la possibilité d'une erreur d'observation.

Quant aux résultats qui présentent un grand écart par excès, ils dénotent évidemment un défaut individuel de la machine considérée, défaut qui souvent, ne se retrouve plus dans une expérience ultérieure (Voir tableau n° I-2°, machine 2082, 1^{er} et 2^e essais). De tels résultats ne doivent pas entrer dans les moyennes comparatives.

En tenant compte de ces observations, on voit que les diverses séries de machines sont à peu près caractérisées par les coefficients suivants :

DÉSIGNATION DES MACHINES.	TIROIRS plats.		TIROIRS cylindriques.	
	Coulisse Stephenson.	Distribution Stephenson.	Distribution Stephenson.	Distribution Walchaerts.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Machines de vitesse (2 essieux couplés). . . .	3,10	3,60	2,60	2,60
Id. mixtes (3 id. id. . . .)	3,60	3,60	»	»
Id. à marchandises (3 essieux couplés).	4,70	»	»	»
Id. id. (4 id. id. . . .)	»	»	4,10	4,10

Les machines pourvues à la fois de tiroirs cylindriques et de distribution Walchaerts, présentent un avantage marqué sur celles du type ordinaire. Cet avantage ressort clairement :

1° De la comparaison entre les machines de vitesse de l'un et de l'autre type qui, sous le rapport des dimensions générales et du véhicule, sont identiques ; le bénéfice résultant de la modification du mécanisme est, en moyenne, 0^k,50 par tonne, soit $\frac{0,5}{3,1} = 16$ p. 100 ;

2° De la comparaison entre les machines à marchandises ordinaires à trois essieux couplés et les grosses machines à huit roues. Ces dernières ont la résistance spécifique la plus faible, malgré la diminution du diamètre des roues, et l'augmentation considérable de toutes les dimensions du mécanisme.

Pour les machines mixtes, les résultats sont égaux de part et d'autre ; les machines à tiroirs cylindriques de cette série proviennent d'une transformation ; elles ont conservé la distribution Stephenson qui se trouve même ici compliquée par un renvoi de mouvement à balancier ; d'autre part, le diamètre des cylindres a été augmenté. De là deux causes de résistances supplémentaires, qui se trouvent compensées par la seule modification des tiroirs.

Si on considère les résultats obtenus dans leur ensemble, on trouve que les chiffres de résistance sont notablement inférieurs à ceux qu'on attribue générale-

ment aux machines similaires, d'après les expériences anciennes. Ce fait s'explique en partie par le perfectionnement des procédés de construction, notamment par les modifications apportées dans le jeu des organes et dans le graissage. Mais il provient surtout de ce que, dans la plupart des expériences précitées, la vitesse des machines, quoique faible, avait encore une valeur beaucoup trop considérable pour que son influence fût, en réalité, négligeable.

Expériences relatives à la résistance du mécanisme et de l'accouplement.

Ces expériences ont été faites :

1° Sur une machine à grande vitesse, avec toutes les pièces de mouvement et de connexion démontées.

2° Sur une machine à trois essieux couplés (mixtes) dont on a démonté : 1° les bielles motrices et d'excentrique ; 2° en outre, les bielles d'accouplement.

3° Sur une machine à quatre essieux couplés : 1° avec les bielles du piston et de tiroirs démontées ; 2° avec les bielles d'accouplement également démontées.

Pour chaque essai, une machine auxiliaire en feu venait donner la propulsion initiale (6 à 8^k de vitesse), puis serrait son frein : on observait le mouvement ralenti de la machine abandonnée à elle-même. Une deuxième machine auxiliaire, placée au bout opposé de la voie d'essai, donnait ensuite le mouvement pour la contre-épreuve.

Chaque essai a été fait par comparaison avec la résistance de la même machine, en feu, et dans les conditions normales.

Résultats d'expériences.

1° Machine à voyageurs n° 2010. (Tiroirs plats.)

Poids (tender compris), 52 tonnes.

	RÉSISTANCE par tonne.	RÉSISTANCE totale en kilogr.
Machine entièrement montée, en feu.	3 ^k ,20	166 ^k ,400
Id. bielles motrices, d'excentrique et d'accouplement démontées.	2 ^k ,35	123 ^k ,200
Soit, pour toutes les pièces mobiles.	0 ^k ,85	44 ^k ,200

Pour une machine à tiroirs cylindriques, identique sous le rapport du véhicule, la résistance des mêmes organes d'après les résultats trouvés à la page 67, serait de $(0^k,85-0,50) = 0^k,35$ par tonne ou, en valeur, de $44^k,200-26^k = 18^k,200$ rapportés à la jante.

2° Machine mixte n° 3039. (Tiroirs plats.)

Poids (tender compris), 48 tonnes.

	RÉSISTANCE par tonne.	RÉSISTANCE totale en kilogr.
Machine entièrement montée.	3 ^k ,60	172 ^k ,800
Id. bielles motrices et de tiroirs démontées.	2 ^k ,25	108 ^k ,000
Soit, pour le mécanisme.	1 ^k ,35	64 ^k ,800
Même machine, avec les bielles motrices, de tiroirs et d'accouplement démontées.	2 ^k ,20	105 ^k ,600

L'influence de l'accouplement est négligeable.

3° Machine à marchandises n° 4031. (4 essieux couplés. Tiroirs cylindriques.)

Poids (tender compris), 70 tonnes.

	RÉSISTANCE par tonne.	RÉSISTANCE totale en kilogr.
Machine entièrement montée.	4 ^k ,0	280 ^k
Id. bielles motrices et d'excentrique démontées.	3 ^k ,1	217 ^k
Soit, pour le mécanisme.	0 ^k ,9	63 ^k
Même machine, bielles motrices, de tiroirs et d'accouplement démontées.	3 ^k ,1	217 ^k

L'influence de l'accouplement est inappréciable.

La résistance totale du mécanisme, malgré ses dimensions exceptionnelles et la petitesse des roues, n'est pas plus grande que pour une machine mixte du système ordinaire.

Résistance du tender seul. — Quelques essais faits sur des tenders séparés de leur machine, ont donné une résistance de 2^k,50 à 2^k,80. Le tender est donc, comme véhicule, en moyenne à peu près aussi lourd que la machine elle-même.

Il s'agit, bien entendu, de tenders ayant leurs freins entièrement libres.

D'autres essais faits sur des tenders en service, ayant leurs freins censés libres, mais portant sur les boudins ou embarrassés par du gravier, ont donné une résistance bien plus élevée.

Résistance du fourgon. — Le train élémentaire, tel que nous l'avons conçu, se compose d'une machine avec son tender, et d'un fourgon, ou de tout autre véhicule de poids et de dimensions équivalentes. Ayant déterminé la résistance de la locomotive à vitesse nulle, il nous reste à faire la même opération pour le véhicule que nous lui supposons attelé.

Cette expérience, qui paraît extrêmement simple, est au contraire sujette à beaucoup de difficultés et donne, presque inévitablement, des résultats erronés par excès, si on l'applique à un véhicule unique. En effet, l'influence du vent, soit réelle, soit apparente, acquiert une importance relativement énorme sur un véhicule pesant seulement quelques tonnes, et offrant une surface plate de 6 à 8 mètres carrés directement opposée à la marche; en admettant même le calme absolu de l'air, une vitesse de 1^m,50 par seconde, à peu près égale à celle d'un homme marchant au pas, suffit pour créer une résistance

de grandeur comparable à celle que nous voulons mesurer. D'autre part, à cette vitesse extrêmement réduite, l'influence des aspérités de la voie, notamment des joints des rails, celle de l'excentricité de poids des roues, constituent des perturbations relativement énormes, qui rendent fort difficile l'analyse de l'expérience, soit qu'on l'ait faite au dynamomètre ou au chronomètre.

Quelques expériences exécutées dans ces conditions nous ont donné des chiffres variables de 2^k,20 à 2^k,70 par tonne, valeurs toutes exagérées comme on va le voir.

L'expérience devient, au contraire, très aisée et très précise si on la fait porter, non plus sur un véhicule unique, mais sur une rame plus ou moins longue de voitures et wagons à peu près semblables à celui que l'on a en vue.

Dans un train ainsi composé, la résistance de l'air n'a plus qu'une influence relative très réduite, l'effet des aspérités de la voie se compense de voiture à voiture et se réduit à un effort à peu près constant; il en est de même pour l'excentricité de poids des essieux dont l'effet s'annule. On peut ainsi obtenir, à très petite vitesse, un mouvement régulier dont le ralentissement et, par suite, la résistance moyenne par tonne se déterminera facilement.

Ce chiffre de résistance est celui qu'il convient d'affecter à chacun des véhicules composant le train; la correction des parties tournantes varie, suivant le poids des véhicules de 1/10 à 1/20 (page 522).

Exemples :

1° Train de voyageurs composé de sept voitures ou fourgons, sans machine.

Deux parcours inverses en palier.
Roues de 1^m,04. — Fusées de (0,09 × 0,18). — Boîtes mixtes à l'huile de colza.
Charge moyenne par essieu : 4 tonnes.
Résistance par tonne. { Parcours E O. 1^k,60 } 1^k,55
(Vitesse comprise entre 1^m,00 et 0^m 50). { Id. O E. 1^k,50 }

2° Train de voyageurs composé de huit voitures ou fourgons.

Roues de 1^m,04. — Fusées de (0,09 × 0,18). — Boîtes mixtes à l'huile minérale.
Charge moyenne par essieu : 5 tonnes.
Résistance par tonne. { Parcours E O. 1^k,70 } 1^k,60
(Vitesse comprise entre 1^m,00 et 0^m 50). { Id. O E. 1^k,50 }

Les résultats fournis par le graissage à l'huile végétale ou à l'huile minérale ne présentent pas entre eux de différence appréciable (la température des essais étant de 15°).

On peut encore opérer sur un train plus ou moins long remorqué par une machine, en corrigeant les résultats de la résistance propre de la machine, mesurée directement.

Exemple :

Train de marchandises, composé de trente véhicules divers, attelé à une machine à 4 essieux couplés.

Poids de la machine, 70 tonnes. — Poids du train remorqué, 300 tonnes.
Roues de 1^m,04. — Fusées de (0,09 × 0,18). — Boîtes mixtes à l'huile de colza.
Résistance moyenne par tonne. . . . { Parcours E O. 2^k,40 } 2^k,20
{ Id. O E. 2^k,00 }

La résistance de la machine et du tender, mesurée directement, est de 3^k,80 par tonne. On a pour la résistance x des véhicules remorqués :

$$x \times 300^T + 3,80 \times 70^T = (300 + 70) \times (2^k,20),$$

d'où $x = 1^k,83$.

Dans cette expérience, la valeur de la résistance s'est trouvée un peu aggravée par le passage du train sur une plaque tournante. L'état moyen d'entretien, ordinairement moins satisfaisant sur les trains de marchandises que sur ceux de voyageurs; expliquerait, d'ailleurs, une légère différence en plus. On voit que cette différence, si elle existe, est très faible.

En résumé, on peut admettre, pour toutes sortes de véhicules, dans des conditions de construction et de

graissage analogues à celles que nous avons définies, une résistance à vitesse nulle de $1^k,50$ à $1^k,80$ par tonne. Le chiffre de 2^k doit être considéré comme une limite supérieure.

Les résultats plus élevés, qui se trouvent relatés dans certaines expériences, proviennent, soit d'un mauvais graissage, soit de la résistance de l'air qu'on aurait négligé d'éliminer.

Nous sommes maintenant en possession des données qui définissent la résistance du train élémentaire supposé sans vitesse. Il nous reste à considérer ce que devient cette résistance à des vitesses croissantes jusqu'aux limites extrêmes réalisables par chaque type de machine.

B. Expériences en marche à des vitesses variables.

Étude de la résistance de l'air.

Nous devons maintenant considérer le train élémentaire avec son groupement normal : machine, tender et fourgon. Des trains ainsi composés circulent effectivement dans diverses circonstances, notamment pour les essais de machines. Ces trains sont ceux qui ont servi pour les expériences que nous avons à relater.

En principe, une seule expérience, exécutée de la manière suivante, donne la solution complète du problème.

Le train étant lancé sur une partie de voie uniforme (palier, faible pente ou rampe) et sans courbes, à sa vitesse maximum, on ferme le régulateur et on laisse le train ralentir progressivement jusqu'à l'arrêt complet. La loi de ce ralentissement, observée par une des méthodes que nous avons décrites, donne la résistance totale du train aux différentes vitesses et permet d'exprimer cette résistance en fonction des vitesses elles-mêmes.

L'emploi du dynamomètre d'inertie convient particulièrement pour cette expérience. Il présente cet avantage important qu'à défaut d'une partie de voie d'inclinaison uniforme, on peut opérer en profil variable, alors même que les cotes d'inclinaison ne seraient pas exactement connues. Rien n'empêche, d'ailleurs, si on y trouve avantage ou commodité pour ne troubler en rien la marche du train, de fractionner en deux parties, ou même en un plus grand nombre, l'expérience complète : on fera, par exemple, une première observation entre les vitesses de 90 et 50 kilomètres, une deuxième entre 60 et 25 kilomètres, enfin une dernière entre 35 et 0 kilomètre en choisissant, pour chacune de ces expériences partielles, la partie du profil qui s'y prête le mieux.

Il convient de réitérer l'expérience autant que le permettront le profil et la marche du train, de manière à obtenir plusieurs résultats se contrôlant entre eux.

Soit $a, b \dots z$ une courbe de résistance obtenue, soit par une seule épreuve, soit par une série d'épreuves partielles dont les diagrammes se raccordent d'une manière satisfaisante, $a a'$ étant l'ordonnée correspondante à la vitesse initiale V_0 , et $z z'$, l'ordonnée finale, à l'instant de l'arrêt complet; on sait que la quadrature de l'aire $a a', z z'$, par ordonnées successives, combinée avec les données du profil de la voie, fournit la loi des vitesses correspondant aux accélérations négatives ou résistances déduites du diagramme (Pl. VI, fig. 23).

Soit a, b, z la courbe représentative de ces vitesses; en prenant les ordonnées de cette courbe pour abscisses, et les résistances correspondantes pour ordonnées, on aura une nouvelle courbe qui représente la loi des résistances en fonction de la vitesse $R = f(V)$ (Pl. VI, fig. 24). Cette méthode exige, comme on le voit, la connaissance de l'une des vitesses initiale ou finale. Si la vitesse finale est 0, il n'y a aucune observation spéciale à prendre : dans tout autre cas, il faut au moins une observation

de vitesse ; on peut la faire au moyen du compteur chronographe, en se servant des repères placés sur la voie ; mais il est bien plus avantageux d'opérer avec le tachymètre qui donne les vitesses successives elles-mêmes en fonction du temps et dispense du calcul des aires (Pl. VII, fig. 8 et 9). [Diagrammes obtenus avec le dynamomètre d'inertie sur une machine à voyageurs, entre les vitesses de 80 kilomètres et 0 kilomètre.]

La méthode chronométrique permet, en principe, de procéder d'une manière semblable. Mais on sait que pour donner des résultats suffisamment précis, cette méthode exige un mouvement dont les variations soient lentes et les points de repères nombreux. Supposons qu'on opère, par exemple, en palier, avec une grande vitesse initiale, l'observation des repères hectométriques serait tout à fait insuffisante, celle des tours de roue difficile et incertaine. Si, pour éviter cet inconvénient, on faisait l'expérience sur une voie inclinée, à 8 ou 10 millimètres par exemple, on n'arriverait, ni à l'arrêt, ni à un ralentissement suffisant du train.

Le fractionnement de l'expérience est ici indispensable ; il correspond, d'ailleurs, aux conditions effectives de la marche des trains sur les lignes accidentées. On observera les grandes vitesses sur les fortes déclivités, les faibles vitesses sur les pentes peu prononcées ou même en palier aux abords des points d'arrêt. C'est ainsi que pour le train relativement très résistant qui nous occupe, il conviendra d'opérer, autant que le profil s'y prêtera :

	millim.		kilom.
En pente de	0 à 5	pour les vitesses de	0 à 30
Id. de	5 à 10	id. id. de	30 à 60
Id. de	10 à 15	id. id. de	60 à 80
Id. de	15 à 20	id. id. de	80 à 100

Dans chacune de ces expériences, on obtiendra, entre deux limites de vitesse déterminées, une accélération W positive ou négative, mais toujours de faible valeur et

qui, par suite, étant considérée entre des limites de temps assez larges, pourra être calculée avec précision et par des méthodes simplifiées : souvent, même si la déclivité a été bien choisie, on arrivera à l'uniformité du mouvement. Dans ce cas, l'accélération W est nulle, et la résistance par tonne du train pour la vitesse réalisée V , est égale au coefficient d'inclinaison de la voie i .

Cette manière d'opérer est d'autant plus avantageuse que la correction des parties tournantes, toujours un peu incertaine, s'annule avec l'accélération effective. La justesse des résultats dépend, uniquement, de l'exactitude des cotes d'inclinaison de la voie.

En général, pour une accélération positive ou négative W , la résistance par tonne sera exprimée par $i \mp \frac{W}{g}$, i étant l'inclinaison de la voie en millimètre, g l'accélération de la pesanteur, sauf la correction des parties tournantes.

Exemple :

Mouvement d'un train formé d'une machine G V, son tender et un fourgon.

Poids total, 55 τ . Pente de la voie, $i=0,015^m$. Distance des repères, 100 mètres.

TEMPS		VITESSES MOYENNES.	ACCÉLÉRATION MOYENNE.
observé.	corrigé.		
0,00	0,00	$V = \frac{200}{45,66 - 5,20} = 19,12$	$W = \frac{18,76 - 19,12}{36,82 - 10,42} = -0,014$
5,20	5,20		
10,58	10,42		
15,70	15,66		
21,00	20,92		
26,20	26,20	$V = \frac{200}{42,16 - 31,50} = 18,76$	$\frac{W}{g} = -0,0014$ + pour les parties tournantes $-0,0001$ $0,0015$
31,55	31,50		
36,85	36,82		
42,10	42,16		
47,40	47,52		

Résistance par tonne $0,0150 + 0,0015 = 0,00165$ ou $R_r = 16^k,5$ pour une vitesse moyenne de $\frac{19^m,12 + 18^m,76}{2} = 18^m,94$, soit : 68 kilomètres.

On a trouvé pour le même train, et pour différentes vitesses :

A 70 kilomètres.	$R_r = 17^{\text{kg}},00$
68 id.	16 ,50
60 id.	12 ,00
45 id.	7 ,00
30 id.	4 ,50
Et à très faible vitesse, dans une expérience au dépôt.	} 2 ,50

On tracera aisément, d'après ces résultats, la courbe des résistances en fonction de la vitesse.

Emploi du tachymètre. — Enfin, l'emploi du tachymètre hydrostatique se prête très avantageusement à la même étude.

Il se réduit, en effet, à constater la vitesse d'équilibre du train considéré sur des pentes d'inclinaison connue. Chaque fois que sur une pente donnée, le régulateur étant fermé, l'index du tachymètre se tiendra immobile, on n'aura qu'à inscrire les valeurs corrélatives de la pente et de la vitesse.

Si les parties de voie, à pente uniforme, étaient trop courtes pour qu'on pût arriver à l'équilibre, on constaterait la variation de vitesse dans un temps donné : d'où se déduit immédiatement, avec une précision d'autant plus grande que cette variation est plus faible, la valeur de l'accélération ou de la résistance.

Résultats d'expériences. — L'application de ce programme a été faite spécialement sur des machines à voyageurs, susceptibles d'atteindre, en service comme en essai, des vitesses élevées. Toutes ces machines présentaient sensiblement le même poids et les mêmes dimensions : sous le rapport du mécanisme, elles n'offraient de différence notable que par le système de distribution.

Les tenders et les fourgons sont semblables.

Les résultats obtenus peuvent se résumer comme il suit :

La résistance aux faibles vitesses, à partir de zéro, croît d'abord avec une grande lenteur ; l'accroissement est à peu près insensible jusqu'à 10 ou 15 kilomètres.

Aux environs de 30 kilomètres, la résistance est double ; vers 50 kilomètres, elle se trouve triplée sans qu'on observe encore de différence sensible d'une machine à une autre ; la loi d'accroissement est celle du carré des vitesses.

Aux vitesses plus grandes, la résistance continue à croître suivant une loi rapide, mais qui n'est plus la même pour toutes les machines.

Pour un assez grand nombre d'entre elles, l'accroissement de résistance continue à obéir à la loi du carré des vitesses ; ces machines sont celles qui présentent, à régulateur fermé, l'allure la plus libre ; telles sont, par exemple, les machines ayant des tiroirs plats arrivés à un certain degré d'usure et présentant, par suite, un grand jeu de soulèvement.

D'autres machines, dans des conditions de liberté moins satisfaisantes, offrent une résistance plus rapidement croissante avec la vitesse et dont l'expression comporte un terme du 3^e degré.

En résumé, la loi générale du phénomène peut être exprimée par la formule :

$$R_r = a + bv^2 + cv^3,$$

dans laquelle R_r étant la résistance en kilogrammes par tonne, et v la vitesse en kilomètres, a est le coefficient de résistance à faible distance, dépendant seulement de frottements du véhicule et du mécanisme, b un coefficient constant pour toutes les machines ayant à peu près, mêmes poids et mêmes formes, c un coefficient variable avec le degré de liberté des tiroirs.

La valeur de a est, comme on l'a vu, en moyenne de $2^k,60$ dans le cas des tiroirs cylindriques et de $3^k,10$ pour les tiroirs plats; celle du coefficient b a été trouvée de $0,0020$ pour des machines pesant 35^r livres, 55^r avec tender et fourgon, et offrant au vent une section transversale de 7 mètres carrés environ.

Le coefficient c varie depuis 0 , valeur normale pour des machines bien libres, jusqu'à $0,000012$ valeur correspondant aux machines les plus résistantes que nous ayons rencontrées.

Considérons une machine dans les conditions de résistance minimum, c'est-à-dire à distribution cylindrique avec des tiroirs présentant le maximum de liberté.

La formule de résistance est $R_r = 2^k,5 + 0,0020v^2$.

Appliquons cette formule à la vitesse de 72 kilomètres (20 mètres par seconde), allure généralement atteinte par les trains express en profil facile: on trouve $R_r = 12^k,9$.

Le poids total du train étant 55^r , la valeur de la résistance absolue est: $12^k,9 \times 55 = 710$ kilogrammes, et le travail à la jante dépensé par seconde, dans la progression de ce train $= 20 + 710^k = 14200$ kilogrammètres soit 190 chevaux.

Ainsi, une machine de vitesse à l'allure d'un train express dépense pour se remorquer elle-même, avec son tender et un fourgon vide, un effort *effectif* de près de 200 chevaux, soit environ les deux tiers de la puissance totale qu'elle développe dans les conditions de marche normale (chap. III, page 581).

Dans cet énorme développement de résistance passive, les efforts dus au roulement des véhicules et au frottement du mécanisme n'entrent que pour une faible part. Toutes les expériences récentes ont démontré la décroissance du coefficient de frottement avec la vitesse. On

doit donc considérer l'ensemble de ces efforts comme représentés au maximum par le terme constant de la formule: $2^k,6$ ou $3^k,1$.

Les réactions et chocs de la voie n'ont également qu'une influence peu sensible; l'expérience journalière montre que la dureté plus ou moins grande d'une portion de voie et l'exagération même du mouvement de lacet n'ont pas d'influence appréciable sur l'accélération dans les pentes: les expériences chronométriques précises et les nombreux diagrammes que nous avons relevés au dynamomètre d'inertie confirment absolument ce fait.

Quant aux phénomènes d'ordre pneumatique qui se passent à l'intérieur des cylindres, dans la marche à régulateur fermé (*), nous en avons reconnu l'influence parfois très sensible et qui est alors caractérisée par l'introduction d'un terme du 3^e degré dans la formule. Mais il s'agit actuellement du chiffre de résistance minimum autour duquel se groupent, sans écart appréciable, un grand nombre de machines ayant une complète liberté de soulèvement de leurs tiroirs; il est extrêmement probable que, dans ces conditions, le travail des efforts pneumatiques se réduit à une valeur très faible, sinon pratiquement insignifiante.

On est donc amené à conclure, et nous allons le vérifier par des expériences directes, que la plus grande partie de l'effort dépensé par la machine se remorquant seule, soit au moins $1/3$ de sa puissance effectivement disponible, est absorbée par la réaction de l'air ambiant sur les larges surfaces qui se présentent de front au vent relatif, et qui sont surtout: la boîte à fumée, la traverse N, la cabine du mécanicien, enfin la partie de la caisse du fourgon qui n'est pas masquée par le tender; les

(*) Il est bien entendu que la distribution est toujours ramenée à fond de course, en A' .

rayons des roues frappant l'air avec une grande vitesse concourent pour une part, peut-être notable, à ce résultat, ainsi que les tampons d'avant, disques d'éclairage, dôme de vapeur et, généralement, toutes les parties saillantes du train.

Si, d'autre part, on admet, comme chiffre moyen des expériences connues, que des formes inclinées à 45 ou 50° réduisent d'environ moitié la résistance de l'air sur une section droite donnée, on est amené à cette conclusion qu'une modification rationnelle des formes de la locomotive pourrait produire un bénéfice de 15 à 20 p. 100 sur le travail disponible, ou une économie de même importance sur la consommation de combustible, dans le cas de trains à grande vitesse, et à long parcours sans arrêt.

Un résultat aussi important demande à être contrôlé par des mesures directes et établies d'une manière indiscutable. Nous résumerons brièvement les expériences qui ont été faites à ce sujet aux chemins de fer de l'État.

1° *Expériences directes sur la résistance des plans.* — La résistance des surfaces planes sous l'action du vent relatif ou absolu a fait l'objet d'expériences anciennes dues à des observateurs et à des savants de premier ordre. Ces expériences, exécutées en grand nombre et sur des données extrêmement variées, présentent un grand intérêt, et contiennent en substance la solution du problème qui nous occupe. Toutefois, de leur variété même résulte au premier abord une certaine apparence de confusion, et leur forme souvent indirecte laisse subsister quelque doute sur la légitimité de l'application de leurs résultats aux circonstances de la pratique.

Il a paru utile de reprendre quelques-uns de ces essais, indépendamment de tout programme scientifique, au point de vue spécial de la résistance des trains.

On a procédé pour ces essais comme il suit :

En différents points de la longueur d'un train, on a disposé, perpendiculairement au sens de la marche, des panneaux de dimensions variables, mobiles autour d'un axe horizontal inférieur, et équilibrés au moyen de leviers supportant des poids connus. Le train étant lancé à des vitesses croissantes, qu'on observait au tachymètre, on notait l'instant où la résistance de l'air, devenant prépondérante, déterminait le soulèvement des poids et le renversement du panneau.

Connaissant la section totale de celui-ci, la position de son centre de poussée, ainsi que la valeur du bras de levier et des poids d'équilibre, on avait, par un calcul de moments, la résistance de l'air rapportée à l'unité de surface, pour la vitesse considérée.

De ces essais se dégagent les résultats généraux suivants :

1° La résistance sur une surface de 1 décimètre carré, progressant dans un air absolument calme, à la vitesse de 20 mètres par seconde (72 kilomètres à l'heure) a été trouvée 0^k,520 (*).

2° Pour des vitesses plus grandes, ou plus faibles, la loi de variation de la résistance est très sensiblement celle du carré de la vitesse. Elle se trouve exprimée par la formule $R = 0^k,0001V^2$ (V étant la vitesse en kilomètres, à l'heure).

3° Dans les limites de la pratique, la grandeur absolue de la surface choquée n'a pas une influence notable sur le coefficient de résistance. Toutefois ce coefficient paraît subir un léger accroissement avec l'étendue des surfaces.

4° La marche d'un train de chemin de fer donne lieu à

(*) Ce coefficient diffère peu du chiffre rond de 50 kilogr. par mètre carré indiqué par divers auteurs, comme résumant les expériences sur la matière.

un entraînement de l'air ambiant dont l'influence se fait sentir avec une intensité décroissante jusqu'à une distance de au moins un mètre, soit au-dessus, soit sur les côtés du train.

La résistance d'une surface plane plongée dans la région d'air partiellement entraînée, est réduite en conséquence.

La loi de cette réduction, en fonction de la distance à la surface enveloppe du train, se présente sous la forme d'une courbe à inflexion limitée par deux tangentes horizontales, et qu'on peut assimiler à une demi-sinusoïde; la résistance minimum au voisinage immédiat du train est les 0,3 environ de la résistance normale, prise à une distance de 1^m,20 (Pl. VI, fig. 22).

La loi fort importante que l'on vient d'indiquer explique comment, dans diverses expériences, il a été trouvé des coefficients de résistance trop faibles. Les surfaces soumises au choc de l'air n'étaient pas suffisamment isolées de l'influence des surfaces avoisinantes.

5° On a substitué aux panneaux plans, des prismes à section carrée, ayant une longueur double du côté de leur base. Cette base a été garnie de différentes formes de proue présentant des angles dièdres ou polyèdres plus ou moins aigus.

On a trouvé qu'une proue en forme de dièdre droit isocèle réduit la résistance totale du prisme dans le rapport de 1 : 0,55.

Un angle dièdre de 60°, ou une forme pyramidale ou conique équivalente, permet d'obtenir un rapport de réduction égal ou supérieur à 1 : 0,50.

Si on fait l'application des résultats généraux de ces essais au train élémentaire que nous avons considéré, avec une surface de 7 mètres carrés environ, exposée normalement à l'action du vent, on trouve, pour la vitesse de 72 kilomètres, une résistance de $7 \times 52^* = 364$ ki-

logrammes, correspondant à un travail nuisible de : $364 \times 20 = 7280$ kilogrammes par seconde, ou, très approximativement 100 *chevaux*, force perdue par la seule résistance de l'air en marche, et qu'une modification rationnelle des formes de la locomotive permettrait de réduire de moitié.

Ces chiffres sont inférieurs à la réalité des faits, parce qu'on a considéré seulement la surface projetée, tandis que des surfaces relativement importantes qui se recouvrent en projection reçoivent, en réalité, chacune pour leur part, le choc du vent relatif. Telles sont, en particulier, les roues à rais, motrices et accouplées, dont la résistance au mouvement dans l'air, évaluée par des expériences directes, développe une résistance qui n'est pas moindre de 10 à 12 chevaux et qui pourrait être entièrement annulée par l'emploi des roues pleines.

2° *Expériences sur une machine modifiée.* — Une machine à voyageurs du dépôt de Tours a été transformée, dans l'ordre d'idées qu'on vient d'indiquer; la section de la boîte à fumée, la surface plane de la traverse, celle de la marquise ont été masquées par des tôles inclinées sous un angle de 45 à 60° sur l'axe de la marche; l'arrière du tender a été muni d'une tôle inclinée masquant le haut de la caisse du fourgon; les rayons des roues ont été enfermés entre des flasques en tôle.

La machine ainsi modifiée a été soumise à divers essais de résistance, exécutés par les méthodes déjà indiquées; on a trouvé, par rapport aux machines similaires, et pour une vitesse moyenne de 70 kilomètres, une réduction de la résistance égale à 4 kilogrammes par tonne, soit 200 kilogrammes ou plus de 50 chevaux effectifs.

Cette même machine a été maintenue pendant 6 mois en roulement régulier, avec quatre machines de type identique, et provenant de la même usine.

Ces machines ont été affectées, non aux trains express, mais par suite des nécessités du service à des trains omnibus, ayant de fréquents arrêts et, par suite, n'atteignant que sur la moitié environ de leur parcours des vitesses élevées.

Les résultats moyens de consommation, pour six mois, ont été les suivants :

	TONNAGE moyen.	CONSOMMATION	
		par kilomètre de train.	par tonne kilométrique.
Machine 2063.	93	6,1	64,7
— 2070.	93	6,3	67,8
— 2072.	93	6,4	70,6
— 2073.	93	6,5	67,0
Moyenne.	"	6,3	67,5
Machine modifiée 2071.	94	5,4	57,2

La machine modifiée présente un bénéfice de 12 à 13 p. 100 sur la moyenne générale, et de 10 p. 100 sur la machine la plus économique de toute la série.

Si on observe que les dépenses relatives à l'allumage, aux démarrages multipliés, au service des freins, à la traction en rampe, ne diffèrent pas d'une machine à l'autre, on voit que le bénéfice prévu, et qui concerne seulement la marche à grande vitesse, est largement réalisé.

La longue durée de la période d'expérience et la régularité du service auxquelles les machines ont été soumises dans cette période donnent à ces résultats une valeur considérable, et ne laissent pas de doute sur l'importance de l'économie à réaliser par l'adoption de formes plus rationnelles dans la construction des machines de vitesse.

Pour terminer ce sujet, il ne paraît pas hors de propos de faire observer qu'en adoptant pour l'avant des locomotives des formes contre lesquelles le principal obstacle

réside dans la force de l'habitude, bien plutôt que dans des difficultés d'ordre pratique, on arriverait du même coup à constituer un appareil d'amortissement d'une grande efficacité.

La partie saillante serait formée par une sorte de réseau métallique, substitué à la traverse actuelle, et calculé pour présenter à l'écrasement une résistance élevée, mais moindre que celle du châssis de la locomotive. On aurait ainsi, en cas de collision, une sauvegarde précieuse pour le personnel et pour la machine elle-même.

CHAPITRE III.

RÉSISTANCE DES TRAINS DE VOYAGEURS. PUISSANCE DES MACHINES A VOYAGEURS.

Le mode d'analyse que nous avons adopté réduit à une grande simplicité l'étude de la résistance des trains de voyageurs, tels qu'ils ont été définis au premier chapitre de cette étude.

Composition type des trains de voyageurs. — Un train quelconque est formé d'un certain nombre d'unités, qu'on peut considérer comme identiques sous le rapport du poids et des formes, ajoutées au train élémentaire dont la loi de résistance est maintenant connue.

Pour le train remorqué comme pour le train élémentaire, la résistance totale dépend de deux éléments bien distincts : le poids des véhicules, qui détermine la grandeur des efforts de roulement et de frottement des fusées, et les formes, c'est-à-dire les dimensions et le nombre des voitures, d'où dépend la résistance de l'air.

Résistance par tonne. — En toute rigueur, ces deux

éléments devraient être l'objet d'une analyse séparée. Mais si l'on observe qu'au moins pour le matériel nouveau des compagnies, les véhicules affectés aux trains de vitesse présentent des poids sensiblement égaux avec un gabarit transversal presque identique, on pourra, du moins dans une première approximation, considérer la résistance comme définie indifféremment, soit par le nombre de véhicules, soit par leur poids total.

On peut donc en revenir, pour l'étude qui nous occupe, à la considération du coefficient de résistance par tonne, en l'appliquant seulement au tonnage remorqué.

L'étude analytique qui a été faite au sujet du train élémentaire nous permet, par une analogie évidente, de poser l'équation de résistance du train remorqué, sous la forme :

$$f_i = m + nv^2. \quad (4)$$

Dans cette expression, la constante m doit peu différer du chiffre de la résistance par tonne trouvé aux faibles vitesses (chap. II) soit : $1^k,6$. On peut d'ailleurs la considérer comme une inconnue à déterminer en même temps que le coefficient n .

Une série d'expériences exécutées avec un train de tonnage donné, la loi de résistance du train élémentaire étant également connue, donnera les valeurs de ces deux coefficients; ces valeurs seront les mêmes à toutes les vitesses si la forme d'équation admise *a priori* est exacte; dans le cas contraire, on serait conduit à modifier cette formule par l'introduction de nouveaux termes.

Mode d'expérience. — Le mode d'opérer est absolument le même que pour le train élémentaire. Comme il s'agit ici de trains en service régulier, on sera généralement conduit à procéder par observations fractionnées, en utilisant, soit les déclivités qui sont parcourues à ré-

gulateur fermé, soit l'approche des points de ralentissement ou de stationnement.

Comme observation de détail, on rappellera la nécessité d'opérer en dehors des courbes de faible rayon et par temps calme; enfin, de veiller à ce que tous les freins soient parfaitement libres.

Suivant qu'on disposera de parties de voie à profil constant plus ou moins longues, on choisira de préférence l'emploi du dynamomètre d'inertie, du tachymètre ou du chronomètre.

Dans beaucoup de cas, les trois méthodes peuvent être employées simultanément avec grand avantage.

Soient :

- P le poids brut du train,
- P_1 le poids du train élémentaire,
- $P_2 = (P - P_1)$ celui du train remorqué.

La résistance totale du train élémentaire est :

$$R_1 = (a + bv^2 + cv^3)P_1,$$

(les coefficients a, b, c connus par expérience directe).

La résistance du train remorqué est :

$$R_2 = (m + nv^2)P_2.$$

Supposons que l'expérience ait donné, pour deux vitesses déterminées v et v' , les valeurs de la résistance par tonne de train total ρ_T et ρ'_T , on a évidemment :

$$\rho_T P = (a + bv^2 + cv^3)P_1 + (m + nv^2)P_2,$$

et

$$\rho'_T P = (a + bv'^2 + cv'^3)P_1 + (m + nv'^2)P_2.$$

Ces deux équations déterminent m et n .

Il est clair que ces observations peuvent être multipliées, pour ainsi dire à l'infini, dans les conditions de vitesses les plus variées. On peut également opérer avec des trains de fort ou de faible tonnage. Toutes ces

expériences conduisent à une valeur constante pour chacun des deux coefficients m et n .

La forme admise par l'équation (1) se trouve ainsi justifiée, et en même temps l'hypothèse de l'égalité de résistance par tonne.

Résultats d'expériences. — La formule qui résume toutes ces expériences est :

$$f_i = 1^k,6 + 0^k,0003v^2.$$

Le terme constant $1^k,6$ est celui qu'on a trouvé dans les expériences à faible vitesse.

Quant au terme fonction de v , son coefficient est très petit. On voit qu'aux plus grandes vitesses de marche la résistance totale par tonne remorquée ne dépasse guère 3 kilogrammes (*).

(*) Il y a un écart considérable entre ce résultat et les chiffres, à la vérité fort disparates mais tous beaucoup plus élevés, qui sont donnés comme conclusions de la plupart des expériences anciennes. Sans pouvoir entrer à cet égard dans une discussion de détail, à cause de l'insuffisance des renseignements fournis sur la composition effective des trains d'essai, nous devons faire observer que, dans le matériel ancien des compagnies, les véhicules beaucoup plus légers qu'aujourd'hui offraient au vent, proportionnellement à leur poids, une plus grande surface résistante; que les voitures de différentes classes, fourgons, wagons de marchandises (et le wagon d'expérience lui-même) présentaient des différences sensibles dans leur gabarit transversal; enfin, et surtout, les machines remorquant ces trains n'étaient pas alors pourvues, à leur arrière, de la vaste marquise qui, en abritant le mécanicien, protège également toute la partie antérieure du train contre le vent direct; de là un surcroît considérable de résistance sur la caisse de la 1^{re} voiture, et qui affectait le coefficient moyen dans une proportion d'autant plus élevée, que les trains d'essai étaient ordinairement de faible tonnage. Probablement aussi, les divers systèmes de graissage des boîtes alors à l'essai, n'avaient pas la même valeur moyenne que le graissage à l'huile par boîtes mixtes et tampons inférieurs, qui s'est généralisé depuis.

Nous sommes en possession des éléments nécessaires pour calculer la résistance, soit par tonne, soit absolue, pour une vitesse quelconque, d'un train comprenant un nombre quelconque de voitures correspondant à un tonnage donné; la seule difficulté porte sur la valeur variable du coefficient c dans l'équation de résistance de la machine elle-même (page 563).

Observons que ce coefficient, s'il n'est connu à l'avance, peut être déduit d'une seule expérience pour laquelle il n'est aucunement nécessaire que la machine soit libre; il suffit qu'elle soit attelée à un train dont la composition, et par suite la résistance, soit connue.

En résumant toute cette étude, nous sommes conduits à considérer l'état dynamique d'un train marchant à grande vitesse, en palier, d'une manière assez différente de ce qu'on admet d'ordinaire. En tête de ce train, la machine, soit pour se remorquer elle-même, soit surtout pour ouvrir au train remorqué un passage dans l'air, dépense plus de la moitié, parfois les deux tiers de sa puissance effective; derrière elle le train remorqué, passant dans le sillage qui lui est ouvert, n'absorbe qu'un effort relativement faible et à peine variable avec la vitesse (Pl. VII, *fig.* 6 et 7).

On est amené par là à conclure que ce n'est plus aujourd'hui dans la construction des véhicules, ni même dans la disposition, les proportions et le graissage des essieux qu'on doit rechercher la réduction des efforts et des dépenses de traction; sous ce rapport, le minimum pratiquement réalisable est à peu près atteint.

C'est dans l'appropriation des surfaces d'attaque appelées à refouler l'air et à le déverser sur les côtés du train, que réside l'élément essentiel du problème.

Trains de voyageurs à composition irrégulière. — Dans tout ce qui précède, nous avons considéré les trains de

voyageurs comme formés de véhicules géométriquement identiques, ou du moins présentant le même gabarit transversal.

Cette condition est, à peu de chose près, réalisée aujourd'hui dans les trains express de la plupart des compagnies; les fourgons ont souvent un peu moins de hauteur que les voitures, mais à cause de leur position en tête et en queue du train, il n'en résulte aucun inconvénient. Les vigies, qui présentent une saillie plus ou moins grande au-dessus des pavillons, introduisent un surcroît de résistance qui n'est pas négligeable; mais le nombre des freins étant, en principe, à peu près proportionnel à celui des véhicules, on peut considérer cette résistance comme entrant proportionnellement dans la moyenne générale.

Il en est autrement lorsqu'un train présente un grand nombre de voitures à guérite, ou lorsque l'adjonction de véhicules de divers types, tels que : wagons-marée, écuries, anciennes voitures à caisse surbaissée, vient rompre l'uniforme du gabarit. Les trains ainsi constitués présentent souvent un surcroît très sensible de résistance. Par exemple : une guérite de $0^m,90 \times 0^m,90$, offrant une surface au vent de $0^m^2,81$ subirait, d'après les coefficients trouvés, par la pression de l'air à la vitesse de 72 kilomètres, et tout en tenant compte de la diminution de résistance due aux surfaces avoisinantes, un effort permanent de 25 kilogrammes correspondant à une dépense de 7 chevaux-vapeur. Une différence de $0^m,25$ à $0^m,30$ entre la hauteur des pavillons de deux véhicules consécutifs donne lieu à un effort nuisible à peu près égal.

Enfin, certains trains de voyageurs reçoivent dans leur composition des véhicules plats. La résistance d'un train dans ces conditions subit une augmentation parfois énorme, surtout si deux ou plusieurs wagons plats sont mis bout à bout de manière à laisser une grande dis-

tance entre les wagons à caisse qui précèdent et ceux qui suivent.

Nous avons trouvé, pour divers trains où l'on avait placé à la suite du fourgon de tête un seul wagon plat, et à la vitesse moyenne de 60 kilomètres, une augmentation de résistance de $1^k,5$ par tonne représentant, en valeur absolue, 200 kilogrammes environ. Ce chiffre correspond à un travail nuisible de plus de 50 chevaux.

S'il y a plusieurs wagons plats à la suite, le surcroît de résistance s'élève encore de 50 p. 100, et la perte de travail atteint 80 chevaux.

La dépense du combustible est affectée dans une proportion correspondante.

Exemple :

Un train express de 70 tonnes remorquées a effectué le trajet de Niort à Saintes, par beau temps, marchant à l'heure, avec une dépense de route de $6^k,0$ par kilomètre.

Le même train remorqué par la même machine, ayant au retour un wagon plat derrière le fourgon, a fait le trajet inverse dans des conditions analogues de temps; de vitesse et de profil, avec une consommation de $8^k,5$ par kilomètre; soit une dépense kilométrique de $2^k,5$ imputable seulement à la composition géométrique du train.

Le groupement des véhicules que nous signalons ici ne se rencontre que rarement dans les trains de vitesse proprement dits; mais il est fréquent dans les trains omnibus ou mixtes de certaines lignes secondaires; il en résulte un grand accroissement de la dépense de ces trains, surtout lorsque les courants atmosphériques interviennent pour augmenter l'intensité du vent relatif.

Puissance et effort disponible des machines à voyageurs.

La loi de résistance d'un train en fonction de la vitesse étant connue, on peut en déduire soit l'effort effectif, soit

le travail utile, ou la puissance développée dans la traction de ce train (*).

Effort effectif. — La détermination de l'effort effectif est extrêmement simple. La machine étant à une certaine allure, si on mesure, par l'une des méthodes qui ont été indiquées : 1° la vitesse, 2° l'accélération positive ou négative, et qu'on connaisse en outre l'inclinaison $\pm i$ de la voie, en ajoutant à la résistance propre du train, pour la vitesse considérée, la valeur de la force d'inertie déduite de l'accélération, et la composante de la pesanteur due à l'inclinaison i , on aura l'effort total à la jante, pour la pression et le degré d'admission qu'on a en vue.

Cette expérience peut être répétée dans les cas les plus variés à toutes les vitesses et à tous les degrés d'introduction.

Si ces essais sont effectués contradictoirement avec l'appareil indicateur de Watt, la comparaison fera ressortir, pour chaque allure, la différence entre l'effort absolu sur les pistons et l'effort effectif à la jante; c'est-à-dire la perte d'effort due au mécanisme. A défaut de l'emploi de l'indicateur, qu'il est malheureusement bien rare de trouver sur les locomotives en service, l'expérience d'accélération telle que nous l'avons définie donne toujours la valeur de l'ordonnée moyenne utile. Elle permet donc de faire la comparaison, soit entre les diverses allures d'une même machine, soit entre diverses machines pour la même allure; elle dénote les cas de

(*) Nous continuons à supposer, comme nous l'avons fait jusqu'à présent, que la portion de ligne considérée n'ait pas de courbes de faible rayon, ou du moins, que ces courbes n'y soient qu'en proportion insignifiante. Toutes les courbes de rayon supérieur à 1,000 mètres peuvent être considérées comme sans influence sur la traction (voir chap. v).

rendement defectueux, soit que le vice provienne d'une distribution mal réglée, soit qu'il ait pour cause des résistances anormales dans le mécanisme.

Il est surtout intéressant de rechercher l'effort maximum disponible au démarrage. Dans ce cas, la résistance totale du train est connue avec exactitude en fonction du tonnage, et ne représente d'ailleurs qu'une faible portion de l'effort à mesurer; l'inclinaison de la voie est ordinairement nulle; reste à déterminer l'accélération. On peut employer avec une égale facilité la méthode du dynamomètre d'inertie et le comptage des tours de roues; ou mieux, on procédera simultanément par les deux méthodes.

Les cylindres seront soigneusement purgés et réchauffés avant le départ; on aura soin d'opérer sur un rail bien sec afin d'obtenir le maximum d'adhérence.

Expérience de démarrage d'une machine GV à tiroirs cylindriques remorquant un train de huit voitures.

Poids de la machine et du tender	50 ^r	Poids adhérent	24 ^r
Poids du train remorqué	95 ^r	Diamètre des roues	2 ^m ,02
Total P.	145 ^r	Dimensions des cylindres	$\left\{ \begin{array}{l} C=0,65 \\ D=0,44 \end{array} \right.$
Pression à la chaudière	9 ^k ,0	Effort théorique . . . . .		$\frac{Pd^2l}{D} = 5.607$
Marche en avant, à fond de course (75 p. 100)			

Résultats.

Résistance propre du train	$145 \times 2^k,5 = 360^k$
Accélération moyenne pendant l'expérience : 0 ^m ,28.	
Force d'inertie du démarrage	$= \frac{P}{g} \times 0^m,28 = 4.138$
+ 1/15 pour les parties tournantes	= 276
Composante d'inclinaison de la voie	= 0
Effort total au démarrage	4.774^k

La comparaison de cet effort avec le coefficient théorique $\frac{Pd^2l}{D}$ fait ressortir un rendement de 0,85.

La perte de rendement 15 p. 100 comprend, d'une part, toutes les résistances passives dues aux frottements du

mécanisme sous l'action de la vapeur, et de l'autre la différence entre le diagramme effectif et le diagramme théorique, ce dernier supposant l'introduction à 100/100 sans dépression aux cylindres, ni contre-pression sous le piston.

Les courbes d'indicateurs relevées dans des cas analogues permettent d'évaluer approximativement à 10 p. 100 la réduction du diagramme ; reste pour la résistance des organes 5 p. 100 ou environ 280 kilogrammes.

Dans le cas des machines à tiroirs plats, la résistance du mécanisme, calculée de la même manière, a été trouvée en moyenne de 10 p. 100 ou 560 kilogrammes.

Si on considère la locomotive, non plus au démarrage avec la marche à fond de course, mais dans les conditions normales de son service, avec une introduction de 15 à 20 p. 100, l'ordonnée moyenne du diagramme est réduite au 1/3 ou au 1/4 de sa valeur initiale ; l'effort nuisible dû au mécanisme diminue également, mais dans une proportion bien moindre, par suite de la réduction de la course du tiroir ; le bénéfice de la diminution des frottements par l'emploi des tiroirs cylindriques augmente en valeur relative.

Puissance disponible. — La puissance proprement dite, ou le travail qu'une machine peut produire et dépenser d'une manière soutenue, n'est pas une quantité susceptible de définition précise ; elle dépend d'éléments extrêmement variables, et dont un grand nombre échappent à toute évaluation numérique.

La puissance effectivement disponible d'une machine doit être déduite d'expériences faites en grand nombre, dans les conditions variées du service, entre des limites de temps étendues, et en comparant toujours les résultats obtenus à la consommation de combustible, de matière à exclure certains cas de marche à outrance, ordinairement

réalisée pendant un temps très court, et dont les résultats, fussent-ils déterminés avec exactitude, n'ont aucune valeur pour la comparaison des machines en service.

On opérera, autant que possible, dans des conditions de profil et de marche régulière ; il est nécessaire que l'expérience embrasse un assez long intervalle de temps, non seulement pour qu'on n'ait pas à tenir compte de la différence entre l'état initial et final de la machine et du train, en ce qui concerne l'état du feu, le niveau, la pression et la force vive existante, mais surtout pour être assuré que les conditions de production où on s'est placé sont compatibles avec une fatigue modérée du personnel et de la machine elle-même, avec la possibilité d'entretenir le feu clair, la tubulure et la boîte à fumée dégagées, etc., en un mot, avec un service normal.

Un train express effectuant, sans arrêt, un parcours de 50 à 60 kilomètres, en profil facile, et sans vent, se prête bien à une mesure de ce genre.

Exemple :

Mesure de la puissance développée par une machine GV en profil facile.

Un trajet de 56 kilomètres, en rampe moyenne de $0^{\text{mm}},5$ (rampe maxima 3^{mm}), a été parcouru à une vitesse sensiblement uniforme en $41' 40''$.

Poids du train, machine comprise. 200^t

La vitesse moyenne, pendant le parcours, est $\frac{56000}{41 \times 60 + 40}$: $22^{\text{m}},7$ ou 82 kilomètres à l'heure.

Pour cette vitesse, la résistance par tonne, mesurée directement à la descente d'une pente de 8 millimètres, a été trouvée de $7^{\text{k}},5$. L'effort moyen développé pendant le trajet est donc $(7^{\text{k}},5 + 0,5) 200 = 1600^{\text{k}}$.

Le travail par seconde $1600 \times 22,7 = 36\ 320$ kilog.
et la puissance en chevaux $\frac{36\ 320}{75} = 484$ chevaux, appliqués à la jante.

Ce chiffre se rapporte à une machine de 144 mètres carrés de surface de chauffe, à bouilleur Tembrink. Nous croyons qu'il diffère peu du maximum de puissance réalisable, en marche soutenue, par aucun type de machine à voyageurs employé sur les lignes françaises.

Dans les conditions moyennes du service, la même machine ne dépense guère que 300 à 350 chevaux effectifs.

CHAPITRE IV.

RÉSISTANCE DES TRAINS DE MARCHANDISES. PUISSANCE DES MACHINES A MARCHANDISES.

Composition des trains de marchandises. — Les trains de marchandises sont caractérisés, au point de vue de la traction, par leur faible vitesse et la grandeur relative de leur tonnage. A ces caractères viennent s'ajouter, dans l'ordre d'idées où nous nous sommes placé, celui qui résulte des formes et du groupement plus ou moins régulier des véhicules dont se composent ces trains. De là, une grande indétermination dans l'évaluation des données relatives à la résistance.

Un train de marchandises, formé d'une série non interrompue de wagons couverts ou même de wagons plats semblables entre eux, se présente à peu près dans les mêmes conditions qu'un train de voyageurs.

L'effort moyen dû au roulement est, comme on l'a vu (page 557), très peu différent dans les deux cas, et si la charge moyenne des wagons est considérable, le coeffi-

cient de résistance en marche sera au plus égal, souvent inférieur, à celui des trains de voyageurs.

Si, en outre, comme il arrive ordinairement, le tonnage remorqué est élevé, les résistances spéciales du train élémentaire tendent à disparaître dans la moyenne, et on voit ces trains présenter, même à des vitesses assez grandes, un coefficient de traction très faible.

Ils marchent à régulateur fermé, sans perdre de vitesse, dans des pentes parfois inférieures à 3 millimètres; une pente de 5 millimètres donne lieu à une accélération rapide.

Quand, au contraire, un train présente de nombreuses coupures, résultant de l'interposition de wagons plats en différents points de sa longueur, on voit son coefficient atteindre aux vitesses de 35 à 40 kilomètres, même par temps calme, une valeur très élevée telle que 6 kilog. ou même 7 kilog.; cette dernière supérieure à celle qui caractérise la traction des trains express.

On arrive assez exactement, d'une manière empirique, à l'évaluation de la résistance en estimant, à vue d'œil, en quel nombre de tronçons le train se trouve décomposé par l'interposition des wagons plats : dans cette évaluation on ne comptera pour une séparation complète que celle qui est formée par au moins deux wagons plats à la suite. Pour une seule longueur de wagon plat entre deux wagons à caisse, on admettra le coefficient $2/3$. De même, une série de wagons à houille, plus élevés que les wagons plats, ne sera comptée que pour $1/2$ séparation, et un seul de ces wagons pour $1/4$. On appréciera, d'une manière analogue, les cas de chargements irréguliers : on arrive ainsi à un nombre entier ou fractionnaire de tronçons, par lequel on divise le tonnage brut, et on applique au tonnage brut fictif ainsi obtenu la formule des trains de voyageurs.

Si la vitesse ordinairement faible des trains de mar-

chandises, et le rôle prédominant des rampes dans l'effort réel de traction de ces trains, réduisent parfois l'influence des formes à une valeur peu sensible, il en est autrement lorsque l'action d'un vent contraire un peu fort s'ajoute à la vitesse du train, et surtout lorsque la direction de ce vent donne une résultante oblique, de manière que les caisses des voitures successives ne se protègent plus mutuellement. Les trains ainsi composés éprouvent un ralentissement considérable, ou bien la consommation de combustible augmente dans d'énormes proportions.

Sans entrer à cet égard dans de plus longs détails, on voit l'extrême intérêt qu'il y aurait, au moins sur les lignes à grand trafic, à spécialiser une partie des trains des marchandises par nature de wagons plats ou couverts.

Ces trains pourraient être remorqués dans des conditions très économiques à des vitesses moyennes de 35 à 40 kilomètres.

Au contraire, pour les trains de composition mixte, l'adoption d'une faible vitesse normale est une nécessité, et parfois ne suffit pas pour assurer la régularité de la marche.

Puissance des machines à marchandises. — Pour la détermination de la puissance d'une machine à marchandises, on peut opérer soit comme pour les trains de voyageurs dans un parcours prolongé en profil facile, soit dans la montée d'une rampe assez longue et à peu près continue.

Si l'expérience est faite à une vitesse relativement élevée, il est nécessaire d'opérer entre des points d'arrêt éloignés, circonstance souvent difficile à rencontrer; en outre, pour les motifs que nous avons développés, la résistance propre du train et, par suite, la puissance

ne peuvent être déterminées avec quelque précision que si ce train est entièrement formé de wagons à gabarit identique.

L'opération faite dans la montée d'une rampe présente beaucoup moins d'incertitude : l'élément principal de la résistance, la gravité, est alors exactement connu, et à cause de la faible vitesse, l'influence des formes s'atténue beaucoup, sauf le cas de vent contraire.

Toutes les expériences ainsi faites établissent l'équivalence, sous le rapport de la puissance et de la consommation du combustible, entre les machines à marchandises et les machines à voyageurs, pour les mêmes proportions de chaudières, et dans des conditions de service moyennes : pour les unes comme pour les autres, le rendement présente sa valeur la plus favorable dans le cas d'une introduction moyenne (2 à 3/10) et s'abaisse quand la détente tombe à un chiffre trop faible, ou quand, au contraire, elle est poussée jusqu'à une valeur extrême.

Toutefois pour la marche à outrance, la machine à marchandises a moins d'élasticité que la machine à voyageurs, soit sous le rapport de la production à cause de la vitesse moins favorable au tirage, soit au point de vue de l'effort disponible, parce qu'il est plus tôt limité par la condition d'adhérence.

CHAPITRE V.

RÉSISTANCE DES COURBES.

La question des courbes est certainement une des plus complexes que renferme le problème de la résistance des trains.

Une courbe, même de faible rayon, n'a pas, à proprement parler, de résistance, et elle ne donnerait lieu à aucun travail négatif si la condition du roulement co-

nique, qu'on s'attache à réaliser autant que possible, était effectivement remplie. C'est parce qu'il y a toujours un écart plus ou moins grand entre les conditions réelles d'orientation du train dans la courbe et celle du roulement qu'on voit se développer des résistances accessoires, glissement partiel des jantes, frottement des boudins, et chocs proprement dits.

Dans la production de ces résistances interviennent à la fois la valeur du rayon de courbure, l'écartement entre les rails, le dévers de la voie, et, en ce qui concerne le matériel, la conicité des bandages, le jeu transversal et longitudinal des essieux tant pour les véhicules que pour la locomotive, le mode de suspension, la liberté des attelages, enfin la vitesse qui, théoriquement, devrait avoir une relation déterminée avec le dévers, tandis qu'elle varie effectivement entre des limites étendues.

D'ailleurs, lors même que toutes ces conditions se trouveraient parfaitement définies et identiques, pour plusieurs trains attaquant la même courbe, l'indétermination des effets dynamiques subsisterait encore. Tantôt l'entrée en courbe donne l'impression d'un choc violent, tantôt elle est à peine ressentie; parfois la machine et le train éprouvent, à l'entrée et à la sortie, un mouvement de lacet prolongé. Dans d'autres cas, l'orientation des véhicules se fait d'une manière progressive et sans secousse.

L'emploi du dynamomètre est la seule méthode par laquelle on puisse tenter l'analyse de phénomènes aussi compliqués et dont l'évolution s'accomplit en quelques secondes.

Les nombreux diagrammes que nous avons relevés, sur des trains en service (*), montrent bien le caractère indé-

(*) Il importe essentiellement, pour toutes ces observations, d'opérer par un temps absolument calme; l'influence d'un vent

terminé et en quelque sorte capricieux de cette résistance; ils ont permis, toutefois, d'établir certains coefficients moyens, applicables aux circonstances de la pratique.

Le passage d'une courbe de 500 mètres de rayon, lorsque l'entrée en courbe s'est effectuée doucement, et qu'il ne s'est pas produit de lacet trop sensible, donne lieu à une résistance comprise entre 1/2 et 1 kilog. par tonne.

La résistance d'une courbe de 800 mètres, dans les mêmes conditions, est parfois presque insensible; elle atteint au maximum 1/2 kilog.

Les courbes de 1.000 mètres et au-dessus ne donnent pas d'effort permanent appréciable.

La longueur du train ne paraît pas avoir d'influence sensible sur le coefficient de résistance; en d'autres termes, chaque véhicule intervient pour sa résistance propre.

La vitesse, entre des limites étendues, est également sans influence notable.

En résumé, l'effet dynamique des courbes, en tant que *résistance permanente*, est peu prononcé, du moins pour des rayons de 500 mètres et au-dessus, et dans l'hypothèse d'un matériel analogue à celui sur lequel nous avons opéré, dans lequel les véhicules, ainsi que tous les types de machines, ont une assez grande liberté de leurs essieux.

Quant à l'influence des *chocs*, qui se produisent parfois sans cause apparente, à l'entrée ou à la sortie des courbes, et des *mouvements de lacet* qui s'ensuivent, les diagrammes montrent que la résistance subit, dans

variable donne lieu à des effets tout à fait analogues à la résistance due aux courbes et la confusion des phénomènes est d'autant plus à craindre que le passage du train en courbe change la direction du vent relatif et, par suite, sa résistance.

ces circonstances, un accroissement notable, et atteint parfois jusqu'au double de sa valeur normale.

Le maximum d'effort nuisible est ordinairement constaté à l'entrée dans la courbe : si le développement en est assez long, la résistance tend à revenir à sa valeur normale; la sortie de la courbe donne lieu assez souvent à un nouvel accroissement de l'effort résistant.

Dans les courbes de grand rayon, le diagramme indique souvent encore la production d'un choc à l'entrée, mais il n'en résulte pas de travail négatif appréciable.

NOTE A.

Application du dynamomètre d'inertie au contrôle de la marche des trains.

(Pl. VII, fig. 5.)

Le diagramme que nous prendrons pour exemple a été relevé entre deux intervalles consécutifs de stations, d'Azay à Rivarennnes, de Rivarennnes à Huismes (ligne de Tours aux Sables-d'Olonne: kilomètres 224,7—217,3—206,6).

Le trajet d'Azay à Rivarennnes est un profil facile, paliers ou rampes de 1 à 3 millimètres. Celui de Rivarennnes à Huismes est formé presque en entier par la succession d'une longue rampe de 15 millimètres et d'une pente de même inclinaison et de longueur à peu près égale, séparées par un court palier; courbes de 500 à 1.000 mètres.

Le train est formé de 8 véhicules remorqués par une machine à grande vitesse (poids total, 135^r).

Toutes les phases de la marche se dessinent sur le développement du diagramme.

En *a*, au départ d'Azay, on observe une ordonnée de valeur considérable correspondant à l'effort de démarrage (démarrage au petit régulateur, la marche en avant à fond de course).

En *b*, diminution notable de l'ordonnée par suite de la résistance due au passage du train sur l'aiguille de sortie de la gare, disposée pour donner accès sur la voie d'évitement.

En *c*, le mécanicien ramène sa marche vers le point mort, puis il ouvre le régulateur en grand.

De *d* en *e*, l'effort moteur est maintenu un peu au-dessus de la valeur de l'effort résistant; la vitesse va en croissant progressivement jusqu'à 60 kilomètres environ.

En *e*, fermeture du régulateur; à partir de ce point, l'ordonnée accuse la résistance propre du train.

En *f*, action du frein pour l'arrêt à l'aiguille de Rivarennnes, où doit avoir lieu un croisement.

En *g*, mise en marche de la machine suivie de l'action du frein à deux reprises.

(L'égalité des aires positive et négative, à partir du passage à l'aiguille, indique que l'arrêt complet a été effectué réglementairement.)

De *h* en *k*, arrêt à Rivarennnes.

En *k*, démarrage. A partir de ce moment, la marche est maintenue à un cran élevé pour lancer le train et lui permettre ensuite de gravir la longue rampe de 15 millimètres.

En *l* (arrivée au palier), fermeture du régulateur.

En *m*, action de la contre-vapeur pour modérer la vitesse dans la descente; cette action est supprimée en *n*.

En *p*, à l'approche de la station de Huismes, action du frein pour l'arrêt.

De *q* à *r*, arrêt à Huismes.

Toutes les circonstances intéressantes de la marche

sont ainsi enregistrées et contrôlées. La quadrature du diagramme, combinée avec les indications de pentes fournies par le profil en long, détermine la corrélation de tous ces faits avec la vitesse et avec la position du train sur la ligne.

Nous avons fait cette opération pour la section du parcours comprise entre Rivarennnes et Huismes.

On reconnaît sur l'épure que le train a été lancé, à partir de la station, à une vitesse de 42 à 43 kilomètres. Pendant la montée de la rampe, cette vitesse est tombée progressivement à 25 kilomètres. A partir du palier, elle est remontée rapidement jusqu'à une valeur de 72 kilomètres à partir de laquelle on a fait usage de la contre-vapeur, qui l'a ramenée un peu au-dessous de cette limite; enfin, la vitesse a été amortie aux approches de la station par l'action du frein.

La longueur du trajet, déduite de l'épure, ne présente pas de différence appréciable avec celle qui résulte du kilométrage officiel. Ce résultat vérifie de la manière la plus concluante l'exactitude du fonctionnement de l'appareil.

Emploi du contrôleur Brunot modifié suivant le principe du dynamomètre d'inertie (Pl. VI, fig. 12).

On sait que le contrôleur Brunot consiste en un cadran circulaire mû par un mouvement d'horlogerie, sur lequel s'inscrivent les battements d'un pendule dont le plan d'oscillation est transversal, et qui, par suite, reçoit le contre-coup du mouvement de lacet produit pendant la marche. Cet appareil permet seulement de distinguer l'état de mouvement, de l'état de repos; il fait connaître la durée totale des stationnements et des parcours de station à station, mais ne donne aucun

indication sur les circonstances de la marche, ni même sur les arrêts de très courte durée, comme ceux qui sont prescrits dans certains cas aux aiguilles d'accès des gares.

D'ailleurs son fonctionnement est assez incertain aux faibles vitesses, ce qui fait que la longueur des arrêts n'est pas toujours indiquée d'une manière très précise.

Dans l'appareil modifié, le pendule a son axe transversal; il est donc sollicité par tous les efforts moteurs ou résistants qui agissent sur le train, absolument comme le dynamomètre d'inertie dont il n'est qu'une forme simplifiée et réduite; il trace des diagrammes dont l'interprétation est la même, sauf la petitesse de l'échelle qui ne permettrait pas de déduire des mesures numériques.

L'inertie propre du pendule étant nécessairement faible dans le cas actuel, l'emploi du frein à eau est indispensable; on lui donne même une grande énergie. Grâce à cette précaution, le tracé du diagramme acquiert toute la netteté désirable et permet de lire, non seulement la durée exacte des stationnements, mais toutes les circonstances intéressantes de la marche, telles que: démarrages plus ou moins brusques, marche avec grande admission pour la montée des rampes, fermeture du régulateur dans les pentes et aux points de ralentissement prescrit, action des freins, arrêt en pleine voie ou aux aiguilles, marche en arrière, manœuvres en gare, etc...

La figure 1 (Pl. VI) représente le diagramme de la marche d'un train entre Tours et Niort.

NOTE B.

Observations faites au moyen du dynamomètre d'inertie sur l'action des divers systèmes de freins.

De toutes les études dynamométriques qui se rattachent à la traction des trains de chemins de fer, le problème des freins est certainement l'un des plus importants, et celui qui a donné lieu, surtout dans ces derniers temps, aux recherches les plus intéressantes. L'emploi du dynamomètre d'inertie convient tout particulièrement pour l'étude de ces questions; sur le diagramme qu'il fournit on peut lire le développement de toutes les phases du phénomène: serrage plus ou moins rapide, action normale, augmentation ou diminution du frottement en raison de la vitesse variable, du calage des roues ou de toute autre cause; desserrage brusque ou progressif, etc.

De cette analyse se dégagent à la fois les caractères spéciaux de chaque système de frein et les lois générales du frottement, variable avec la pression, la vitesse et l'état des surfaces en contact.

Nous devons nous borner ici à résumer les conclusions pratiques les plus importantes qui ressortent de nos essais.

1° Freins de tender manœuvrés à la main.

On a opéré sur des tenders pesant en moyenne 16 tonnes et dont le frein était seul mis en action, à l'exclusion de ceux des fourgons, soit pour l'arrêt, soit pour le ralentissement d'un train pesant environ 120 tonnes brut. Le frein est à vis, du système Stilmant; étant serré à fond, il produit aisément le calage des roues, quel que soit

l'état du rail, pour toute vitesse inférieure à 35 ou 40 kilomètres. Les sabots sont en fonte.

La vis étant serrée avec force, de manière toutefois à ne pas réaliser le calage, avec une vitesse moyenne de 35 à 40 kilomètres et sur bon rail, l'effort total du frein a été trouvé de 15 à 18 pour 100 du poids freiné, soit un peu moins de 3.000 kilogrammes.

Lorsque la vitesse descend à une valeur très faible, le frottement augmente sensiblement, et l'on obtient un effort atteignant 22 à 25 pour 100 du poids, ou près de 4.000 kilogrammes.

Lorsque les roues viennent au calage, si le train est animé d'une assez grande vitesse, on voit immédiatement le coefficient de frottement subir un abaissement de 10 à 15 pour 100 (Pl. VII, *fig.* 10); pour des vitesses très faibles (8 à 10 kilom.), l'effet du calage est beaucoup moins prononcé, parfois insensible.

L'emploi du sable déversé sur le rail au moyen de l'appareil de la machine, donne un accroissement sensible de l'effort d'enrayage (15 à 20 pour 100), mais seulement aux faibles vitesses. Aux vitesses élevées, on ne constate aucun effet, sans doute parce que le sable projeté sur les rails en est immédiatement chassé par l'effet de la vitesse et du vent.

2° Freins continus.

Il a été fait, aux chemins de fer de l'État, une série complète d'expériences sur les divers systèmes de freins continus appliqués dans des conditions exactement comparables à des trains de composition identique effectuant régulièrement les mêmes parcours à tour de rôle.

Les nombreux diagrammes relevés sur ces trains ont permis de faire une analyse détaillée du fonctionnement des freins et, dans plus d'une occasion, ils ont indiqué

les améliorations à réaliser. Nous donnons, à titre d'exemple, un diagramme relevé, pour chacun des freins, dans des conditions moyennes (Pl. VII, *fig. 4*). L'analyse de ce diagramme fait aisément ressortir les traits caractéristiques de chaque système.

Pour rendre la comparaison plus sensible, nous avons superposé, à partir de leur origine, les courbes représentatives des divers freins (*).

Tous les diagrammes correspondent à une vitesse initiale de 60 kilomètres (**).

La composition des trains est la suivante :

	POIDS.		
	Freiné.	Non freiné.	Total.
1 machine G.V.	»	35 T	35 T
1 tender.	16 T	»	16 T
8 véhicules remorqués (voitures et fourgons).	84 T	»	84 T
Total.	100 T	35 T	135 T

Proportion du poids freiné au poids total : 74 pour 100.

Serrage. — Le frein électrique est celui dont le serrage est de beaucoup le plus rapide. Son action est complète après un intervalle notablement plus petit que 1 seconde à partir de l'instant où a commencé la manœuvre. Si on la compare à celle d'un frein dont la mise en prise serait rigoureusement instantanée, on voit que la différence représente à peine 6 ou 8 mètres de parcours à grande vitesse.

(*) Le montage du frein Westinghouse est le même qu'au chemin de fer de l'Ouest.

Le frein à vide Hardy est à une seule conduite, non automatique.

Le frein électrique Achard présente les mêmes dispositions générales qu'au chemin de fer de l'Est; toutefois il a subi dans le cours des essais plusieurs améliorations importantes.

(**) L'égalité des aires indique l'égalité des vitesses amorties.

Le frein Westinghouse a encore un serrage rapide; la pression sur les sabots se manifeste instantanément et croît progressivement pour atteindre sa pleine action, après 3 secondes environ. C'est un retard effectif de 1" 1/2 correspondant à 20 ou 30 mètres de parcours.

Dans l'appareil Smith-Hardy, le serrage se développe à partir de l'instant initial, suivant une progression régulière, mais assez lente. Il n'est guère complet (pour la totalité du train) qu'après 8 ou 10 secondes, durée qui diffère peu de celle exigée pour l'arrêt total dans le cas d'une vitesse moyenne. Nous n'avons pas été à même d'observer comment varie la durée du serrage pour des trains de différentes longueurs, mais nous avons pu constater que l'action de ce frein dépend essentiellement de la manière de manœuvrer le robinet de l'éjecteur. On peut, en l'ouvrant brusquement, obtenir un serrage un peu plus rapide que celui de notre diagramme; mais ce résultat n'est obtenu qu'aux dépens de la valeur absolue du vide et de l'effort moyen d'enrayage.

Effort absolu. — Nous nommons *effort absolu* la valeur qu'atteint la force retardatrice lorsque le serrage est complet. Cette valeur dépend de la vitesse, à cause de la variation du coefficient de frottement; on peut convenir, pour plus de précision, de mesurer, pour chaque frein, l'effort absolu à une vitesse déterminée, par exemple, 50 kilomètres.

Dans nos expériences, les efforts absolus ont oscillé autour des coefficients suivants :

Frein Westinghouse.	18,5	du poids freiné
Id. Smith-Hardy.	18,0	id. (*)
Id. Achard.	15,0	id.

(*) La valeur de l'effort absolu est difficile à déterminer pour le frein Hardy, à cause de son grand retard au serrage. On ne peut la déduire que des diagrammes d'arrêts effectués à très grande vitesse.

On remarquera que ces chiffres définissent les conditions de montage de chacun des freins sur nos trains d'essais, plutôt que la valeur des systèmes eux-mêmes : au point de vue de la puissance absolue, tous les systèmes sont en réalité équivalents, et la limite de leur énergie est déterminée par la seule condition de l'adhérence.

Effort effectif. — L'effort effectif, pour chaque frein est la valeur de la force constante qui, appliquée au train pendant toute la durée de l'arrêt, aurait permis d'amortir la même vitesse dans le même parcours ; c'est, en d'autres termes, le quotient de la demi-force vive initiale par la longueur de l'arrêt.

La valeur de la vitesse initiale est fournie, pour chaque diagramme, par la quadrature de l'aire totale comprise entre la courbe et l'axe des abscisses ; l'espace parcouru s'obtient par le calcul de l'aire de la courbe intégrale.

On trouve ainsi, pour l'effort effectif des divers freins, dans les arrêts que nous avons pris pour types :

Frein Westinghouse	12,1	du poids total et 13,9	du poids freiné.
Frein électrique	11,0	—	14,5 —
Frein Smith-Hardy	9,2	—	12,1 —

On remarquera le relèvement du coefficient du frein électrique dû à la promptitude de son serrage.

Desserrage. — Le frein électrique présente, pour le desserrage comme pour le serrage, une grande supériorité. La durée du desserrage complet est inférieure à toute appréciation.

Pour les freins Westinghouse et Smith-Hardy, le desserrage complet n'exige pas moins de 4 à 5 secondes.

On remarquera sur les diagrammes que, dans le cas du frein électrique, l'ordonnée s'élève beaucoup dans les derniers instants de l'arrêt, tandis que pour les autres

freins elle s'abaisse progressivement pour tomber à zéro à l'instant même de l'arrêt. Ce fait tient à la manière dont la manœuvre s'effectue suivant les cas.

Avec le frein électrique, le desserrage étant assuré dans un temps inappréciable, le machiniste peut maintenir la pression des sabots jusqu'au dernier tour de roue de la locomotive, et ne la faire cesser qu'un instant avant l'arrêt absolu, sans avoir à craindre de réaction fâcheuse dans l'ensemble du train. L'accroissement rapide qu'on observe dans la valeur de l'ordonnée correspond à l'augmentation du coefficient de frottement, phénomène sur lequel les travaux de M. le capitaine Douglas Galton ont attiré l'attention, et qui ressort très nettement de l'examen de nos diagrammes.

Pour les freins pneumatiques, au contraire, il est nécessaire de commencer le desserrage plusieurs secondes à l'avance pour permettre au train de se détendre avant l'arrêt. Si, par suite d'une fausse manœuvre ou de toute autre cause, le serrage total est maintenu jusqu'à la fin, on observe le même décroissement de l'ordonnée que dans le cas du frein électrique, mais il se produit à l'arrêt, ou quelques instants après, des secousses plus ou moins violentes. Ces secousses sont complètement évitées dans la manœuvre du frein électrique.

Frein Wenger. — Le frein Wenger, introduit récemment dans notre matériel, n'est pas compris dans les expériences comparatives précitées.

Les conditions dynamiques de ce frein ont été reconnues à très peu près identiques à celles du frein Westinghouse.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

EXPOSÉ DE LA MÉTHODE.

	Pages
INTRODUCTION	481
Coup d'œil général sur les méthodes dynamométriques. — Indicateur de Watt. — Frein de Prony. — Dynamomètre de traction. — Principe de la méthode rationnelle : ses trois formes expérimentales.	
CHAPITRE I ^{er} . — MESURE DIRECTE DES ACCÉLÉRATIONS. — DESCRIPTION ET EMPLOI DU DYNAMOMÈTRE A FORCE D'INERTIE.	487
Principe théorique. — Pendule dynamométrique : forme élémentaire. — Forme différentielle : pendule roulant. — Degré de sensibilité. — Inertie propre du pendule. — Forme d'exécution.	
Application à la mesure des efforts dans les systèmes locomobiles. — Application à l'étude d'un mouvement quelconque dans un plan horizontal. — Cas d'un mouvement quelconque. — Application aux machines fixes et aux machines-outils. — Principe d'un appareil modérateur des accélérations.	
CHAPITRE II. — MESURE DES ESPACES PARCOURUS EN FONCTION DES TEMPS. ANALYSE GRAPHIQUE DES RÉSULTATS.	506
Généralités. — Repérage des espaces. — Mesure des temps : compteur chronographe. — Coordination et contrôle des résultats. — Emploi de la latte ou règle flexible : analyse graphique des résultats.	
Application aux mouvements périodiques, aux relevés d'expériences dynamométriques. — Indicateur de pression à force d'inertie	
CHAPITRE III. — MESURE DES VITESSES EN FONCTION DES TEMPS. — TACHYMÈTRE HYDROSTATIQUE. — APPLICATION AUX MACHINES FIXES ET AUX MACHINES-OUTILS.	522
Généralités. — Conditions pratiques pour obtenir avec exactitude la mesure des vitesses. — Tachymètre hydrostatique.	
Essais dynamométriques sur les moteurs d'ateliers et les machines-outils. — Volant dynamométrique.	

DEUXIÈME PARTIE.

RÉSISTANCE DES TRAINS.

CHAPITRE I ^{er} . — EXPOSÉ DU PROBLÈME : NÉCESSITÉ DE TENIR COMPTE DES FORMES ET DU GROUPEMENT DES VÉHICULES.	530
--	-----

Pages

Distinction des efforts qui sollicitent un train en marche. — Efforts moteurs; efforts résistants. — Résistances normales; résistances accidentelles. — Résistance au roulement. — Résistance de l'air; influence des formes géométriques et du groupement des véhicules. — Train élémentaire; train remorqué.	
CHAPITRE II. — ÉTUDE DU TRAIN ÉLÉMENTAIRE. — MACHINE. — TENDER. — FOURGON	536
Résistance à faible vitesse, ou résistance au roulement; mode d'expérience; emploi du dynamomètre d'inertie, du chronographe.	
Résultats d'expériences : résistance de machines à grande vitesse, mixtes, à marchandises. — Influence du mécanisme et de l'accouplement. — Résistance du tender; résistance du fourgon ou d'un véhicule quelconque.	
Expériences en marche à des vitesses variables; étude de la résistance de l'air. — Mode d'expérience. — Résultats obtenus; influence prédominante des formes dans la résistance à grande vitesse. — Expériences directes sur la résistance des plans. — Expériences sur une machine modifiée. — Conclusions.	
CHAPITRE III — RÉSISTANCE DES TRAINS DE VOYAGEURS. — PUISSANCE DES MACHINES A VOYAGEURS.	571
Composition type des trains de voyageurs. — Train élémentaire; train remorqué. — Résistance par tonne. — Résultats d'expériences.	
Formule de la résistance.	
Trains de voyageurs à composition irrégulière. — Cas de wagons plats interposés. — Grand accroissement de la résistance.	
Puissance et effort disponible des machines à voyageurs. — Effort effectif; effort au démarrage; rendement maximum.	
Mesure de la puissance utile développée en service. — Exemple.	
CHAPITRE IV. — RÉSISTANCE DES TRAINS DE MARCHANDISES. — PUISSANCE DES MACHINES A MARCHANDISES.	582
Composition des trains de marchandises. — Trains à composition régulière. — Trains à composition irrégulière : évaluation empirique de la résistance.	
Détermination de la puissance développée par les machines à marchandises en service.	
CHAPITRE V. — RÉSISTANCE DES COURBES.	585
Nature de l'influence des courbes; éléments très variables qui concourent à la résistance. — Résultats généraux d'expériences.	
NOTE A. — Application du dynamomètre d'inertie au contrôle de la marche des trains. — Emploi du contrôleur Brunot modifié	588
NOTE B. — Observations faites au moyen du dynamomètre d'inertie sur l'action des divers systèmes de freins.	592
Freins de tender manœuvrés à la main. — Freins continus.	

COMMISSION PRUSSIENNE DU GRISOU

EXPÉRIENCES

SUR LES EXPLOSIONS DE POUSSIÈRES DE HOUILLE

Traduction par extraits, par M. L. JANET, ingénieur des mines.

La Commission prussienne « pour la recherche et l'examen des mesures de précaution à prendre contre le grisou », instituée par une décision ministérielle du 20 avril 1881 (*), comprenait 26 membres, sur lesquels 18 appartenaient au Corps des Mines et 8 à l'industrie privée. Elle s'est réunie à l'École des Mines de Berlin, le 9 juin 1881, à l'effet d'arrêter le plan général de ses travaux. Voici le programme qui a été adopté :

I. — *Questions statistiques.*

1. Relevé des explosions ou des accumulations de grisou constatées officiellement dans les houillères

(*) Voir pour plus de détail la « Note sur l'état des travaux à la fin de 1881 des diverses commissions du grisou qui ont fonctionné à l'étranger », par M. Aguillon, ingénieur en chef des mines, insérée dans les « Pièces annexées aux procès-verbaux des séances de la commission française du grisou », 2^e fascicule, p. 232.

prussiennes, de 1860 à 1880 (et antérieurement s'il y a lieu); leurs conséquences; critique raisonnée de leurs causes.

2. Relevé des divers modes de ventilation pratiqués dans les houillères prussiennes; conditions d'aérage des mines à grisou.

3. Relevé des mesures de précaution contre le grisou, qui peuvent figurer dans les lois, règlements ou instructions, tant en Prusse qu'à l'étranger.

II. — *Questions scientifiques et techniques.*

1. Propriétés physiques et chimiques des gaz des houillères; mélanges explosifs et asphyxiants qu'ils produisent; génération et diffusion des gaz des houillères; influence des conditions atmosphériques.

2. Relations entre le gisement du charbon et le dégagement des gaz des houillères.

3. Action physiologique, sur l'organisme humain, du grisou et des produits de sa combustion lente.

4. Conditions dans lesquelles se présente le grisou dans les houillères (dans le charbon, les roches encaissantes, les vieux travaux); influence des systèmes d'installation et des méthodes d'exploitation sur l'augmentation ou la diminution des accumulations de grisou.

5. Propriétés ou influence des poussières.

6. Causes d'inflammation.

a) Éclairage (propriétés et dispositions des divers systèmes de lampes).

b) Travail à la poudre.

c) Foyers d'aérage; toque-feux.

d) Incendies souterrains.

e) Poussières.

f) Causes diverses.

7. Moyens de reconnaître le grisou.

- a) Lampes de sûreté.
 - b) Grisoumètres et indicateurs.
8. Mesures de précaution pour prévenir les accumulations et les explosions de grisou.
- A. En faisant disparaître le grisou :
 - a) Par combustion du gaz à mesure qu'il se dégage.
 - b) Par des moyens chimiques.
 - B. En rendant l'atmosphère inoffensive :
 - a) Systèmes d'installation générale; méthodes d'exploitation.
 - b) Procédés de travail au chantier.
 - c) Ventilation (naturelle ou artificielle); division de l'aérage; contrôle du courant d'air; observations barométriques et thermométriques; plans d'aérage; drainage des accumulations locales.
 - C. Mesures de précaution à prendre pour ce qui concerne :
 - a) Les lampes de sûreté.
 - b) Le travail à la poudre, ou ce qui le remplace.
 - c) Les poussières.
 - d) Divers.
9. Appareils de sauvetage et moyens de pénétrer dans les milieux irrespirables.

III. — *Conclusions et propositions.*

1. Au point de vue technique (méthodes d'exploitation, ventilation, lampes de sûreté, travaux d'abatage, etc.).
2. Au point de vue réglementaire (modifications de la réglementation, aggravation des dispositions pénales, etc.).

Pour l'exécution de ce programme, la commission s'est partagée en trois sections, la première pour les questions statistiques, la seconde pour l'étude des règlements, la troisième pour toutes les questions scientifiques et techniques.

En même temps, on a formé trois sous-commissions locales pour les districts de Breslau-Halle-Clausthal, de Dortmund et de Bonn. Elles ont été chargées de réunir les documents relatifs à toutes les questions scientifiques et techniques.

La commission du grisou a tenu 12 séances et a terminé la série de ses réunions plénières le 26 juin 1885, en émettant le vœu que les travaux non encore achevés fussent poussés avec la plus grande activité possible.

Deux fascicules de pièces annexes (*) viennent actuellement de paraître (novembre 1885). Ils contiennent :

- 1° Les procès-verbaux des séances de la commission principale;
- 2° Les comptes rendus des réunions de la sous-commission des questions scientifiques et techniques;
- 3° Les rapports définitifs des commissions locales de Bonn, Breslau-Halle-Clausthal et Dortmund.

Il paraîtra probablement encore quatre fascicules.

On voit qu'il n'est pas encore possible de se rendre compte des résultats d'ensemble obtenus par la commission prussienne du grisou. — Nous ne nous occuperons ici que de la question des poussières.

Dans sa séance du 2 décembre 1882, la commission du grisou chargea la section scientifico-technique de déterminer la méthode à suivre pour les essais à entreprendre sur les poussières de charbon. Le 15 décembre 1885, M. Hilt, directeur de houillères dans le bassin d'Aix-la-Chapelle, présenta un mémoire qui, tout en indiquant sommairement l'état de la question, demandait que l'on fit des expériences en grand pour éclaircir ce sujet. Ces expériences furent autorisées par M. le ministre des travaux publics, sur la demande de M. le Dr Serlo, président

(*) *Anlagen zum Haupt-Berichte der preussischen Schlagwettercommission.* Berlin, librairie Ernst et Korn, 1885.

de la commission. On choisit comme emplacement le carreau du puits Wilhelm, de la mine fiscale Koenig, située près de Neunkirchen, dans le bassin de Sarrebruck. Le grisou était nécessaire, et cette mine offrait précisément un soufflard, dont il était facile de capter les gaz. M. Hilt fut désigné pour faire le projet d'installation et diriger les expériences, qui furent surveillées dans le détail par M. Margraf, inspecteur des mines à Neunkirchen.

Les préparatifs furent rapidement terminés. Le 14 juin 1884, on établit un premier programme, qui se trouva rempli le 5 septembre suivant, et on rédigea alors un programme additionnel, qui fut approuvé par l'administration supérieure. Le 3 octobre on élargit à nouveau le champ des essais. Les résultats complets de ces expériences n'ont pas encore été publiés; mais, en présence de l'importance des résultats déjà obtenus en 1884, M. Hilt a pensé qu'il serait intéressant de les faire connaître par un premier rapport. Ce rapport a été inséré dans la *Zeitschrift für das Berg-, Hütten-, und Salinen-Wesen*(*); on l'a fait suivre de 4 pièces additionnelles, où M. Margraf fait connaître le programme des essais, l'installation adoptée, la marche et le résultat des expériences. Une seconde note a paru dans le *Glück-auf* du 23 avril 1885. Nous nous proposons seulement d'analyser ces documents en nous abstenant de toute appréciation à leur égard.

Description de l'installation.

Le point le plus essentiel, pour l'établissement de la station, était de se rapprocher, autant que possible, des

(*) T. XXXII, p. 575. — Ce rapport a déjà été traduit en français, avec les pièces qui y sont jointes, par M. Simon, ingénieur aux mines de Liévin (*Bulletin de la Société de l'industrie minière*, t. XIV, p. 133).

conditions habituelles de l'intérieur des mines. On construisit une galerie de 50 mètres de longueur (pl. VIII, fig. 1, 2, 3 et 4), au moyen de fers à **I** recourbés en ellipse, éloignés de 60 centimètres, en garnissant les intervalles avec des planches rabotées de 5 centimètres d'épaisseur, emboîtées les unes dans les autres. Le grand axe de l'ellipse avait 1^m,72, le petit 1^m,20. On bâtit ensuite un massif de maçonnerie en briques, de 3^m,15 de longueur, 3 mètres de largeur et 4 mètres de hauteur, dans lequel la galerie pénétrait de 1^m,16. Ce massif, destiné à simuler le front de taille, reçut 7 canons en fonte, encastrés dans la maçonnerie, et faisant fonction de trous de mine, 2 vers le toit de la galerie, 2 vers le sol, 3 au milieu. Les axes des canons du haut et du bas formaient les arêtes d'une pyramide quadrangulaire droite, dont le sommet était sur l'axe de la galerie à 5 mètres en avant du front. Les axes des canons du milieu formaient un faisceau dont le centre était aussi à 5 mètres du front. Les trous avaient un diamètre de 35 millimètres et une profondeur de 800 millimètres, sauf le trou central, dont les dimensions correspondantes étaient 40 et 900. Les petits canons avaient été préalablement éprouvés avec des charges de poudre de 250 grammes et une forte bourre d'argile, le canon central avec une charge de 500 grammes. Pour amortir l'effet du recul, on intercala, entre la maçonnerie et les culasses, des fragments de planches, séparés par des rondelles de caoutchouc.

La galerie était entourée de terre, jusqu'au sommet sur l'un des côtés, jusqu'aux trois quarts de sa hauteur sur l'autre. Sur la partie qui restait libre, on avait placé 32 regards formés par des plaques de verre de 20 millimètres, enchâssées dans des cadres en fonte, distants les uns des autres de un peu plus d'un mètre. A 1^m,10 du front, au ciel de la galerie, se trouvait une ouverture ovale, analogue aux trous d'homme des chaudières, servant à la

fois pour la ventilation et pour l'introduction des matières, ce qui permettait d'éviter le grand trajet qu'aurait nécessité l'entrée par l'extrémité libre de la galerie. Cette ouverture était fermée pendant les essais. Plus loin, à des distances de 2^m,30, 4^m,30, 8^m,70, étaient percés des trous circulaires, de 20 centimètres de diamètre, qu'on bouchait pendant les essais avec des tampons de bois attachés par des chaînes. Ils étaient projetés à chaque explosion, et faisaient ainsi office de soupapes de sûreté. Une ouverture analogue aux précédentes, située à 27 mètres du front, et à laquelle était adapté un aspirateur Kœrting, avait surtout pour but d'éliminer rapidement les fumées et les suies. On fut conduit bientôt à placer un deuxième aspirateur sur une des soupapes de sûreté et, malgré cette disposition, les fumées n'étaient évacuées complètement qu'au bout de 20 à 25 minutes.

Pour les essais à faire en présence du grisou, on avait disposé à l'intérieur six châssis en bois, sur lesquels on pouvait fixer des toiles, ce qui permettait de créer des compartiments hermétiquement fermés, de capacité variable. Le grisou servant aux expériences était fourni par un soufflard de la mine Kœnig, donnant par minute 25 litres d'un mélange gazeux ainsi composé :

Acide carbonique	0,65
Hydrogène protocarboné	84,59
Hydrogène bicarboné	1,62
Oxygène et azote	12,84
Total	99,70

On recueillait le grisou dans un gazomètre de 5 mètres cubes de capacité, d'où on pouvait le faire passer dans la galerie d'essais suivant les besoins.

On allumait les mines au moyen d'une machine électrique de Mahler et Eschenbach, placée dans une des baraques qu'on avait construites à proximité de la gale-

rie, pour la sécurité des expérimentateurs; ceux-ci faisaient leurs observations par des rainures correspondant aux regards dont nous avons parlé précédemment.

Perpendiculairement à la galerie primitive, on avait construit une galerie secondaire, pouvant être fermée à son extrémité libre par une porte munie de soupapes de sûreté. Son but était de servir à l'étude des effets d'une explosion de grisou ou de poussières, sur un mélange explosif disposé à quelque distance.

Vers l'extrémité libre de la galerie principale, était établi un petit chemin de fer incliné de 4°, avec un wagonnet qui, projeté plus ou moins loin, pouvait donner la mesure de la force de l'explosion.

Résultats des essais.

I. *Coups de mine bourrés avec de l'argile ou avec de la poussière de charbon.* — Il s'agissait d'abord de mesurer la longueur de la flamme produite par un coup de mine ordinaire. On employait une charge de poudre de 500 grammes pour le canon central, de 250 grammes pour les autres. Pour éviter le bris des canons on ne faisait qu'un bourrage assez léger, comme pour la dynamite, au moyen d'un bourroir en bois. Avec la bourre d'argile, la longueur observée était de 3 ou 4 mètres et la flamme jaune clair.

En bourrant les trous de mine avec de la poussière de houille, on a obtenu une flamme de couleur rouge sombre, et d'une longueur de 9 à 16 mètres pour la charge de 230 grammes, de 19 mètres pour la charge de 500 grammes. Le charbon employé provenait de la mine Hansa, en Westphalie, et contenait 16 p. 100 de matières volatiles. Comme nous le verrons plus tard, il doit être classé dans la catégorie qui donne des effets de puissance moyenne.

Le nombre des essais avec bourre d'argile et de poussière a été respectivement de 10 et 12.

Il aurait été intéressant de faire quelques expériences supplémentaires pour établir comment se comportaient les diverses qualités de houille; cela aurait pu donner une idée des dangers que présente un coup de mine au charbon qui débouffe lorsqu'il n'y a pas de poussières dans le voisinage. En effet, ce débouffage provoque sur les parois du trou une sorte de désagrégation, dont les effets peuvent correspondre à ceux d'un bourrage de poussière sans toutefois les dépasser.

II. *Coups de mine, en présence de poussières répandues sur le sol de la galerie.* — Les essais, ayant pour but de constater l'influence des coups de mine sur les poussières de la galerie d'essai, ont été entrepris dans les conditions suivantes: on répandait environ 15 kilogrammes de poussière sur 10 mètres de longueur, de manière à avoir une épaisseur d'environ 2 centimètres au centre de la galerie, et diminuant progressivement vers les parois. La quantité de charbon employé était de 0^k,925 par mètre cube de galerie.

On avait essayé, au début, de jeter des poussières sur les bois fixés aux parois de la galerie, de manière à se rapprocher encore plus des conditions dans lesquelles on se trouve à l'intérieur des mines; le peu de différence qu'ont présentée les résultats obtenus a fait rejeter cette complication inutile.

On bourrait les coups alternativement avec de l'argile et avec de la poussière de charbon (celle-ci étant toujours de même nature que la poussière de la galerie). On avait soin d'agiter fortement les poussières avant l'allumage, afin qu'elles fussent en suspension au moment du tirage.

Si nous comparons d'abord les résultats fournis par

les divers trous de mine, nous trouvons que ce sont les deux trous placés au sol, et dont les axes vont en montant, qui donnent les effets les plus puissants. Les chiffres qui suivent s'appliquent surtout à eux.

Le tableau ci-contre indique les résultats des expériences faites dans ces conditions sur des poussières de provenance et de composition très diverses. Nous indiquons: 1° la longueur moyenne des flammes des coups de mine, quand on répand 15 kilogrammes de poussières sur 10 mètres de galerie, et qu'on emploie une charge de poudre de 230 grammes avec bourre d'argile ou de charbon; 2° les proportions de matières volatiles, oxygène, azote, hydrogène, contenues dans les poussières, et la perte correspondante constatée par l'analyse du coke.

NOMS DES MINES.	LONGUEUR DES FLAMMES.		TENUEUR DES POUSSIÈRES EN :			DIFFÉRENCES RECONNUES PAR L'ANALYSE DU COKE.		
	Bouffe d'argile, mètres	Bouffe de poussière, mètres	matières volatiles,	oxygène et azote,	hydrogène,	Matières volatiles,	Oxygène et azote,	Hydrogène,
A. — Silésie.								
Fuchs-Grube, à Wisstein.	7	20	32,5	12,71	5,22	-13,4	-2,83	-1,28
Carl-Georg-Victor, à Gottesberg.	12	17	17,7	6,78	3,94	?	+0,59	-0,67
Friedenshoffnung, près Waldenburg.	21	24	30,6	8,91	5,44	-17,6	+1,40	-1,68
B. — Hanovre.								
Mine du Gesamtbergamt, à Oberkirchen.	18	22	17,1	8,94	4,33	-	-2,06	-1,02
C. — Westphalie.								
Rhein-Elbe.	20	22	30,2	9,02	6,13	-	-0,53	-0,67
Hibernia.	23	23	20,2	7,52	4,98	-	+0,79	-1,06
Dahlbusch.	15	20	28,7	9,17	5,18	-	+0,43	-1,12
Zollverein.	13	22	28,5	11,62	5,14	-	+2,69	-0,78
Hansa.	12	16	16,3	6,45	4,65	-	1,13	-0,23
Neu-Iserlohn.	24	24	20,5	6,06	4,93	-	+0,43	-1,48
Pluto.	31	33	22,0	7,25	4,88	-	+0,40	-1,80
Eintracht-Tiefbau.	21	27	15,5	5,62	4,45	-	-0,35	-1,38
Sieper et Mulher.	20	23	16,9	7,42	5,53	-	-1,82	-0,95
Deutscher-Kaiser.	13	16	27,0	9,94	5,09	-	-0,76	-0,67
D. — Aix-la-Chapelle.								
Vereinigungsgesellschaft, près Kohlscheid.	6	8	7,0	4,00	3,80	?	?	?
Vereinigungsgesellschaft, près Mossbach.	6	9	8,0	4,50	4,20	?	?	?
Marla, près Henggen.	13	20	11,9	4,86	4,20	-	-0,05	-0,84
Anna, près Alsdorf.	16	22	18,7	6,78	4,75	-	+0,48	-1,89
E. — Sarrebruck.								
Griesborn, couche Wahlschied.	12	16	37,1	16,82	5,54	-	-1,42	-0,96
Von der Heydt, couche Henri.	15	16	30,7	13,45	4,44	-	+0,26	-0,30
Reden, couche Grubenwald.	20	19	30,5	15,26	4,71	-	+3,36	-0,41
Reden, couche Kallenberg.	15	20	38,8	19,04	4,93	-	+3,49	-0,54
Dechen.	13	20	28,9	14,20	5,66	-	+3,80	-1,44
Bueweiler, couche n° 10.	12	16	33,2	11,53	5,33	-	+0,96	-0,94
Bueweiler, couche n° 11.	12	16	33,2	11,53	5,33	-	+0,96	-0,94

On voit, d'après ce tableau, que ce sont les poussières de la mine Pluto (houille grasse du bassin de la Ruhr) qui ont fourni les effets les plus intenses : la longueur de la flamme a atteint 33 mètres. Au contraire, avec les poussières des charbons anthraciteux du bassin d'Aix-la-Chapelle, on n'a eu que 6 à 7 mètres. L'influence de la bouffe est généralement assez faible.

Il résulte de ces premiers résultats qu'il suffit d'une faible quantité de poussière pour produire des effets relativement considérables. En supposant, en effet, que toute la poussière fût soulevée, on en trouverait 0^k,925 par mètre cube de galerie. Or, ce cas ne se présente jamais à cause des fragments grossiers qui sont toujours mélangés aux parties les plus fines ; on ne peut donc plus admettre maintenant que *les poussières ne sont dangereuses que quand l'air en renferme au moins 1 kilogramme par mètre cube.*

En analysant les croûtes de coke qu'on recueillait après l'explosion, M. le docteur Brookmann a constaté qu'elles étaient sensiblement moins riches en matières volatiles que les poussières primitivement employées. Si l'on prend les chiffres donnés pour le charbon de Pluto (perte de 14 p. 100 environ sur 22 p. 100 de matières volatiles), on trouve que les 15 kilogrammes de poussière auraient produit 1^k,230 de gaz. D'autre part, l'analyse ayant montré que le coke contenait à peu près la même proportion d'oxygène et d'azote que la houille, il faut admettre que les gaz développés sont uniquement de l'hydrogène et de l'hydrogène carboné, et représentent dès lors un volume d'au moins 2 mètres cubes. Le volume de 10 mètres de longueur de galerie est 16^m,2. On a donc une proportion de 12 p. 100 de gaz explosif, supérieure à celle du mélange grisouteux le plus dangereux. On conçoit dès lors très bien que certaines variétés de houille puissent produire de véritables explosions.

Théorie de l'inflammation et de l'explosion des poussières. — Dans toutes ces expériences, les poussières jouent un double rôle. Elles deviennent d'abord incandescentes sous l'influence du coup de mine, et donnent une coloration rouge sombre à la flamme ordinairement jaunâtre de la poudre; comme elles restent en ignition pendant un temps appréciable, il en résulte pour la flamme un allongement sensible. Cette action est analogue à celles qu'exerceraient d'autres matières pulvérulentes même inertes, comme MM. Abel et Anderer l'ont démontré pour la magnésie.

La seconde action est la combustion des gaz formés pendant la première période. Cette combustion peut elle-même s'opérer de deux manières différentes: ou bien les gaz brûlent au fur et à mesure de leur formation, ou bien ils s'accumulent en assez grande quantité pour former un mélange explosif. C'est le premier mode qu'on a observé le plus souvent. La flamme se propage généralement avec une vitesse de 1 mètre par seconde; elle est soumise toutefois à des mouvements de va-et-vient, qui proviennent probablement de l'irrégularité de la combustion des gaz. Le second mode s'est produit surtout avec les poussières de Neu-Iserlohn et de Pluto, qui ont donné une violente détonation.

Les phénomènes obtenus ont été encore beaucoup plus intenses quand on a augmenté la longueur garnie de poussières. Avec une longueur de 20 mètres pour les charbons de Neu-Iserlohn et de Pluto, on a de fortes détonations, les soupapes de sûreté sont violemment projetées, et par les ouvertures on voit sortir des colonnes de flammes, de couleur rouge sombre, ayant de 1 à 2 mètres de longueur; puis viennent d'épaisses fumées noires répandant une forte odeur de goudron et obscurcissant l'air autour de la galerie pendant plusieurs minutes. Avec une longueur de 30 mètres, l'explosion devient encore

plus intense, la flamme sort de 7 mètres par l'orifice libre de la galerie, qui a 51 mètres, et le wagonnet servant à apprécier les effets mécaniques est projeté à 7 ou 8 mètres.

« Il est donc hors de doute que, avec cette qualité de houille, on pourrait augmenter à volonté la longueur de la flamme en augmentant la longueur de galerie garnie de poussière ». D'où la possibilité de véritables explosions de poussières en l'absence de toute trace de grisou.

Influence de la composition chimique. — Il peut être établi, par le tableau donné précédemment, que les effets produits augmentent avec la proportion de matières volatiles. Cette conclusion, à laquelle on pouvait s'attendre après les travaux de MM. Galloway, Abel, Mallard et Le Châtelier, ne doit pas être poussée trop loin, et il faut bien se garder d'affirmer, comme on l'a fait quelquefois, que, au-dessous de 16 p. 100 de matières volatiles, les poussières sont inoffensives.

On trouve d'ailleurs d'assez nombreuses exceptions à cette règle, et cela résulte de ce que ce n'est pas la teneur, mais bien plutôt la rapidité avec laquelle les gaz distillent, qui joue un rôle prépondérant. Or, M. le docteur Muck a récemment montré que ce ne sont pas toujours les houilles les plus riches en gaz qui perdent le plus rapidement leurs matières volatiles par l'échauffement, mais plutôt celles de teneur moyenne: 22 à 23 p. 100.

Il est difficile de se prononcer dès à présent sur le rôle que peuvent jouer les proportions d'oxygène, d'azote et d'hydrogène; de nouveaux essais doivent être entrepris pour éclaircir cette question. Généralement les poussières perdent par la combustion moins d'oxygène que d'hydrogène; quelquefois même, on a constaté une augmentation d'oxygène. Il semble aussi que quand la proportion de ce

gaz dépasse 8 à 9 p. 100, il en résulte une diminution dans la longueur de la flamme.

Influence de la finesse. — Le degré de finesse paraît aussi jouer un très grand rôle; nous pouvons faire, à cet égard, les catégories suivantes :

		LONGUEUR de flamme avec bourre d'argile.
Poussières très-fines.	Pluto; Neu-Iserlohn; Hibernia; Eintracht-Tiefbau, Dechen.	21 à 31 mètres
Poussières fines.	Friedenshoffnung; Oberkirchen; Rhein-Elbe; Sieper et Müller; Maria, près Høngen; Anna, près Alsdorf; Reden-Grubewald; Reden-Kallenberg; Dudweiler, couche n° 13; Dudweiler, n° 10.	13 à 21 mètres
Poussières moyennement fines.	Karl-Georg-Victor; Deustcher-Kaiser; Dahlbusch; Zollverein; Von der Heydt.	12 à 15 mètres
Poussières grossières.	Fuchsgrube; Kohlscheid; Morsbach; Griesborn; Maybach; Hansa.	6 à 12 mètres

Ordinairement ce sont les houilles offrant une teneur moyenne en matières volatiles (16 à 24 p. 100) qui sont les plus tendres et donnent une poussière impalpable comme la farine. Celles de Neu-Iserlohn et de Pluto, qui donnent des effets si intenses, offrent ce caractère à un haut degré.

III. *Effet d'une addition de grisou.* — Il s'agissait d'établir dans quelles limites l'inflammabilité des poussières était augmentée par la présence d'une petite quantité de grisou. On formait, à l'aide d'une toile fixée sur un châssis, un compartiment fermé d'environ 20 mètres cubes. On y faisait pénétrer une certaine quantité de grisou (provenant du soufflard dont nous avons déjà parlé) et on opérail le mélange en battant l'air avec des morceaux de

toile occupant presque toute la section de la galerie. Le brassage demandait deux à trois minutes. On s'assurait qu'il était complet, au moyen des lampes Pieler (*) et Davy.

Les expériences peuvent être divisées en deux séries :
1° Mesure de la longueur de la flamme des coups de mine, avec bourre d'argile ou de poussière en présence de l'air mélangé de 1 à 6 p. 100 de grisou;

2° Même expérience, en répandant dans la galerie de la poussière de charbon sur une longueur de 10 mètres.

Les tableaux qui suivent donnent, outre la longueur de la flamme et sa vitesse de propagation, la distance à laquelle était projeté le wagonnet placé à l'extrémité de la galerie.

I. — Essais avec 1 à 7 p. 100 de grisou, sans poussière dans la galerie.

PROPORTION de grisou.	BOURRAGE d'argile.	BOURRAGE avec poussière de la mine König.	VITESSE de propagation.
	Longueur de flamme.	Longueur de flamme.	
	mètres	mètres	mètres
1,48	7	15	1
2,36	9,5	17 } 15 19	1
3,5	7	16 } 13 18	1
4,7	13,6	21,5	1
5,9	10,8	34,6	Très grande.
7	52	44	Explosion.

(*) La lampe Pieler est une lampe à alcool ne différant du type Davy que par quelques détails de construction; de même que dans la disposition proposée par MM. Mallard et Le Châtelier, un écran cache la mèche, ce qui rend beaucoup plus facile l'observation de l'allongement de la flamme et de l'aurole indiquant la présence du grisou.

II. — Essais avec 1 à 6 p. 100 de grisou, 10 mètres de poussière dans la galerie, et bourre d'argile.

Proportion de grisou.	POUSSIÈRE DE KOENIG.			POUSSIÈRE DE NEU-ISERLOHN.		
	Longueur de flamme.	Vitesse de propagation.	Longueur de projection du wagonnet.	Longueur de flamme.	Vitesse de propagation.	Longueur de projection du wagonnet.
0	mètres 15	mètres 1	mètres 0,70	mètres ?	mètres ?	mètres ?
1	15	1	0,90	19	1	1,20
2	15,5	1	1	27	1	1,50
3	19,5	1	1,25	29	1	2,20
4	24,5	1	2,30	31	Très grande.	2,60
5	33	Explosion.	3,30	36	Explosion.	3,40
6	41	Id.	44	46	Id.	1 à 10 <small>Wagonnet surchargé</small>

On voit que les effets obtenus deviennent incomparablement plus puissants. Il ne peut donc plus rester de doute sur les faits déjà signalés par MM. Galloway et Abel, bien qu'ils aient été contredits par MM. Mallard et Le Châtelier : « *L'inflammabilité des poussières est notablement augmentée par une faible proportion de grisou.* »

IV. *Propagation des explosions, entre deux capacités grisouteuses, par le seul intermédiaire des poussières.* — Tant qu'on n'a eu qu'une galerie à sa disposition, on n'a pu réussir les essais relatifs à la transmission de l'inflammation d'un mélange explosif, à un deuxième mélange séparé du premier par un intervalle garni de poussières; en effet, le deuxième mélange était lancé hors de la galerie, par le seul effet de l'explosion du premier, bien avant que les poussières enflammées eussent pu arriver jusqu'à lui. Les circonstances ont changé après la construction de la galerie secondaire dont nous avons déjà parlé; mais,

toutefois, l'inflammation du mélange explosif qu'on y disposait n'a pu être réalisée que dans un petit nombre de cas. En répandant, par exemple, dans la galerie principale, des poussières de la mine Pluto, depuis la cloison déterminant la première capacité grisouteuse jusqu'à la rencontre de la galerie secondaire contenant un mélange explosif, on a obtenu dans cette dernière une violente détonation.

V. *Transmission d'une explosion à des poussières éloignées.* — On établit dans la galerie principale un compartiment séparé au moyen d'une toile à voile fixée sur un châssis, et on le remplit d'un mélange explosif à 7 p. 100 de grisou. On ferma également l'origine de la galerie secondaire avec de la toile à voile, et on recouvrit le sol, sur toute sa longueur, avec des poussières de la mine Pluto, sans introduire la moindre trace de grisou. Il restait, entre le mélange explosif et le compartiment garni de poussières, une longueur de plus de 17 mètres sans grisou et sans poussière. On détermina par un coup de mine l'inflammation du mélange gazeux. La première détonation fut aussitôt suivie d'une explosion beaucoup plus forte; la galerie secondaire fut remplie complètement de flammes et très gravement endommagée. C'est donc là où se trouvaient les poussières qu'on a observé les effets les plus destructeurs.

D'autres essais ont fait constater qu'une explosion de poussières, répandues sur 20 mètres de longueur à partir du front de la galerie principale, c'est-à-dire laissant encore un espace libre de 8 mètres, jusqu'à l'origine de la galerie secondaire, se transmettait aux poussières renfermées dans celle-ci.

VI. *Emploi des poudres brisantes.* — En l'absence de toute trace de grisou, on n'a pas encore réussi à enflammer

les poussières par la dynamite, soit en bourrant la mine avec les poussières les plus inflammables, soit en en répandant sur le sol de la galerie, soit encore en brisant à la dynamite un bloc de houille après l'avoir entièrement recouvert de poussières. Ces essais semblent prouver que l'emploi de la dynamite est exempt de tout danger, lorsqu'il n'y a pas de trace de grisou. On doit faire une autre série d'expériences pour étudier l'influence de la dynamite sur les poussières, en présence de petites quantités de gaz explosif.

VII. *Arrosage des poussières.* — De toutes les mesures de précaution que l'on a préconisées pour se mettre à l'abri des inflammations de poussières, l'arrosage est la seule qui soit entrée dans le domaine de la pratique courante. Dès lors, il était très intéressant de faire quelques expériences sur les poussières humides. Les résultats obtenus semblent montrer que la sécurité obtenue est loin d'être complète. Un faible arrosage ne sert à rien. Pour rendre les poussières inoffensives, il faudrait les mouiller avec les $\frac{2}{3}$ de leur poids d'eau. Il est inutile d'arroser au delà de la portée de la flamme des coups de mine; mais comme cette distance, avec les poussières inflammables, peut dépasser 20 mètres, il en résulterait un supplément de travail considérable.

Conclusions.

D'après cet exposé, on voit que les essais présentent encore bien des lacunes, et qu'on ne peut encore regarder les résultats obtenus comme définitifs. Cependant quelques conclusions importantes peuvent être énoncées avec certitude :

1° Lorsqu'on se trouve en présence des poussières de

charbon, ce qui arrive au voisinage des fronts de taille, la longueur normale de la flamme d'un coup de mine qui débouffe est toujours plus ou moins augmentée.

2° Quand il n'y a aucune trace de grisou, l'allongement est ordinairement limité, et, avec la plupart des variétés de houille, ne dépasse pas 6 à 15 mètres, lorsqu'on emploie la bourre d'argile, et cela quelle que soit la longueur de l'espace garni de poussières. Avec la bourre de charbon, l'allongement est de 9 à 21 mètres.

Avec certaines poussières, l'inflammation produite par le débouffage d'une mine s'étend très loin, et est suivie d'une violente détonation, accompagnée de puissants effets mécaniques. Il peut donc se produire de véritables *explosions de poussières* en l'absence de toute trace de grisou.

3° La présence du grisou rend tous les effets plus intenses; avec les poussières peu inflammables, l'allongement de la flamme est insensible, tant qu'il n'y a pas plus de 3 p. 100 de grisou. Au-dessus de 4 p. 100, la flamme a une longueur illimitée.

Les poussières très inflammables donnent de violentes explosions, dès qu'il y a une petite quantité de grisou (moins de 3 p. 100).

4° Les poussières peuvent déterminer l'explosion d'un mélange grisouteux non explosif, et la transmettre à un mélange explosif placé à grande distance.

5° Une explosion de grisou ou de poussières peut déterminer l'explosion de poussières placées à une grande distance du point primitif d'inflammation.

6° L'emploi de la dynamite ne paraît pas offrir de danger lorsqu'il n'y a aucune trace de grisou.

NOTE SUR UN ACCIDENT

SURVENU LE 7 JUIN 1885

A LA FOSSE N° 1 DES MINES DE NOËUX

Par M. SOUBEIRAN, ingénieur des mines.

La fosse n° 1 ou de Bracquemont de la concession de Noëux a son exploitation concentrée au niveau de 394 mètres; on y travaille dans quatre couches qui sont, en allant du nord au sud ou de bas en haut : Saint-Jules, Sainte-Anne, Saint-Philippe et Saint-Constant. L'ensemble du faisceau est assez tourmenté et, par suite, les mêmes veines sont recoupées à diverses reprises par un même travers-banc. C'est ainsi que la veine Saint-Constant, dans le dressant de laquelle s'est produit l'accident du 7 juin dernier, a été rencontrée une première fois par la bowette Sud du niveau de 394 à 550 mètres du puits; relevée par une faille, elle a été recoupée par la même bowette à 840 mètres, elle reparait enfin en dressant à 950 mètres et en plateure à 1.060 mètres (voir la coupe Nord-Sud au 1/5000°, *fig. 6*, planche VIII). Le dressant est ondulé, quoique son ensemble soit franchement vertical. A une quarantaine de mètres au-dessus de la voie de fond, c'est-à-dire au voisinage du crochon de tête, l'exploitation vient buter contre un accident peu net. La veine Saint-Constant a, dans la région, une épais-

seur moyenne de 0^m,80 en charbon; elle donne des houilles grasses ayant une teneur de 24 à 25 p. 100 en matières volatiles. Dans le dressant, la veine est sèche et poussiéreuse.

L'exploitation s'étend des deux côtés de la bowette jusqu'à 140 mètres au levant et 160 mètres au couchant (*). La veine est prise par une série de 3 ou 4 tailles chassantes superposées et le front forme gradins renversés. Les charbons descendent par des cheminées sur la voie de fond. Ces cheminées sont ménagées dans le remblai et ont une section de 0^m,70 sur 1 mètre. Elles se terminent au toit de la voie de fond par une espèce de bec ou soufflet, dont l'ouverture se ferme par deux petites planches. Comme les blocs de houille ont parfois tendance à se coincer dans la cheminée, sur toute la hauteur règne une corde que le herscheur secoue par le bas quand il voit que le charbon ne descend pas régulièrement. Outre les cheminées au charbon, il en est d'autres qui servent à hisser les bois à hauteur des tailles.

Dans toutes les exploitations de la fosse n° 1, on travaille avec des lampes de sûreté; les veines inférieures sont franchement grisouteuses; cependant dans Saint-Constant, on n'a jamais vu de gaz et à diverses reprises on y a poussé des montages sans apercevoir de grisou.

L'air frais (1^mc,700 environ) arrive au dressant de Saint-Constant par la bowette Sud, il s'engage dans la voie de fond couchant tandis que celle du levant est barrée par une porte. Arrivé à front de la galerie, il monte par les tailles du couchant, descend par celles du levant, prend la voie de fond et, arrêté par la porte, s'engage dans un carnet construit dans la bowette Sud

(*) Voir la projection verticale du dressant à l'échelle de 1/2000 (*fig. 5*, Pl. VIII).

et gagne vers le Nord Saint-Constant plateure. L'aérage est donc abondant dans Saint-Constant puisqu'on n'y compte que 36 ouvriers à la coupe au charbon, rouleurs compris, pour un volume de 1.700 litres par seconde. Il est moins bon et est même défectueux comme parcours, mais il faut tenir compte de ce fait que Saint-Constant n'est pas grisouteux.

Le dimanche matin 7 juin, le porion Patte apprit du surveillant Vêche, son subordonné, que la première cheminée du couchant, à partir de la bowette, était hourdée depuis la veille à 25 mètres environ au-dessus de la voie de fond, soit à 5 mètres au-dessus de la troisième voie de niveau actuellement hors d'usage. Vêche avait vainement cherché à faire tomber le charbon coincé. Patte et Vêche, après avoir visité la partie haute du dressant, où ils ne constatèrent rien d'anormal, se rendirent ensemble dans ladite cheminée en montant d'abord dans la troisième cheminée ou cheminée aux bois et en prenant ensuite la deuxième voie de niveau. A ce moment, c'est-à-dire vers huit heures un quart du matin, se trouvaient dans la voie de fond couchant de Saint-Constant dressant trois ouvriers : 1° le rouleur Fiévet, qui devait charger le charbon que les porions allaient faire tomber; il se tenait derrière sa berline à une dizaine de mètres de la cheminée vers la bowette; 2° les réparationnaires Debailleul père et fils qui, à l'aplomb de la cheminée aux bois, travaillaient à déplacer le fer de la voie.

Tandis que Patte se garait dans le petit bout de voie en cul-de-sac *b*, Vêche, continuant à monter dans la cheminée, plaçait une cartouche de 100 grammes de dynamite munie de son amorce entre deux blocs de charbon du hourdage; il y mit le feu et vint rejoindre son camarade. Ces deux porions n'entendirent qu'une explosion assez faible comme celle d'un coup ordinaire et ne virent pas de flamme. Au moment où l'un deux faisait

remarquer qu'il n'était tombé que très peu de charbon, ils furent à moitié asphyxiés par un nuage de poussières et de mauvais gaz; ils prirent peur, saisirent la corde qui se trouvait dans la cheminée, Vêche suivant Patte, et se laissèrent glisser à toute vitesse jusqu'à la voie de fond, s'arrachant complètement la peau de l'intérieur des mains. Patte gagna immédiatement la bowette, Vêche resta tout d'abord à moitié évanoui sur le bec de la cheminée. Au bout de quelque temps, il sortit de sa torpeur et gagna à son tour la bowette en emmenant avec lui le jeune Fiévet, qui était cruellement blessé. Là, ils rencontrèrent des ouvriers qui leur donnèrent du feu et Vêche revint sur ses pas avec le nommé Hannedouche pour voir ce qu'étaient devenus les Debailleul. Ils les relevèrent tous deux morts, Debailleul fils près de la cheminée aux bois et Debailleul père une trentaine de mètres plus loin vers les fronts. On aurait dit que ce dernier était tombé en cherchant à fuir. Ces deux ouvriers avaient de très graves brûlures sur presque toute la surface du corps. La peau était complètement noire et mouchetée de quantité de particules charbonneuses. D'après le médecin qui visita les cadavres, ils avaient succombé par inspiration de gaz délétères et d'air chaud. Ils ne portaient trace d'aucune fracture.

Fiévet fut remonté vivant, mais il souffrait de brûlures très étendues et mourut le jour même. Quant aux deux porions, ils n'ont aucune trace de brûlures.

Fiévet, à son arrivée au jour, avait encore toute sa connaissance et déclara que les porions avaient tiré un coup de mine dans la cheminée, qu'il avait été bousculé, ressentant une vive impression de chaleur, mais qu'il n'avait pas vu de flamme. Il confirmait donc en tous points le récit des porions. Hannedouche, lorsqu'il vint avec Vêche à la recherche des Debailleul, c'est-à-dire environ une demi-heure après l'accident, comme il mar-

chait pieds nus, sentit le sol brûlant à tel point que lorsqu'il s'arrêtait, il était obligé de lever alternativement les pieds.

Les ingénieurs de la mine constatèrent, environ une heure et demie après l'explosion, que le petit tas de charbon qui se trouvait à l'aplomb de la première cheminée était encore chaud, surtout à l'intérieur de sa masse, au point de ne pouvoir y tenir la main.

Les ouvriers qui travaillaient dans la bowette à environ 300 mètres de Saint-Constant dressant ne sentirent qu'un très léger coup de vent et continuèrent tranquillement leur travail.

Dans la visite des lieux on remarque les faits suivants : dans la bowette, sur une longueur de 50 mètres avant d'atteindre le dressant, quantité de fines poussières flotte à la surface de la rigole d'écoulement. Le carnet en maçonnerie par lequel se fait le retour d'air du dressant est fendu quelques mètres avant d'atteindre ce dernier. La porte qui ferme la voie de fond levant est en partie arrachée, mais son châssis est encore debout. Elle bat des fronts vers la bowette et a été foncée comme par un coup violent venant de la voie de fond couchant. Dans cette dernière galerie, la berline de Fiévet est culbutée sur le côté et est couverte d'une couche de poussières; à une dizaine de mètres plus loin se trouve la cheminée que les surveillants voulaient déhourder. Son soufflet est intact; en dessous de celui-ci est un petit tas de charbon dont nous avons déjà parlé.

A partir de la seconde cheminée dont le bec est à peine touché, la galerie, qui ne contenait jusque-là que des poussières et quelques débris de rocher, présente un aspect plus délabré. Les troisième et quatrième cheminées ont leur soufflet arraché au ras du toit de la galerie et les planches en sont dispersées de côté et d'autre. Au delà, les débris sont plus abondants, et près des fronts se trouve

un éboulement d'une certaine importance qui s'est propagé jusqu'à la première voie de niveau; mais il faut bien remarquer, qu'en ce point, les remblais, frais encore, n'étaient nullement tassés, que les terrains ne les serraient pas et que, quelques bois venant à manquer au toit de la galerie, les remblais ont craché sur une assez grande hauteur. Sur toutes les parois existe une couche de poussière épaisse qui, en certains points, paraît un peu frittée. On relève à peine quelques légères traces de coke. En dehors de la voie de fond de Saint-Constant, et notamment dans toute la partie haute du dressant, on ne remarque aucun désordre.

En résumé, les dégâts matériels sont faibles et l'on doit les considérer comme de peu d'importance si l'on tient compte de ce fait que, dans la voie de fond, on a le remblai sur la tête. A l'inspection des lieux, on dirait que le centre de l'explosion se trouvait vers la cheminée aux bois. Ce fait paraît tout d'abord un peu en contradiction avec les dires des porions. Cependant, celles-ci doivent être tenues pour véridiques, elles sont confirmées par la déclaration de Fiévet et par leurs blessures aux mains; de plus, elles sont de nature à mettre en jeu leur responsabilité, tandis qu'ils ne seraient nullement compromis si l'explosion avait eu son point initial dans la galerie vers les Debailleul. Ces derniers n'avaient, du reste, nullement à se servir d'explosifs pour leur travail, un simple ripage de voie, et on ne retrouve aucune trace d'un coup de mine dans cette région ni aucun outil ayant pu servir à le creuser ou à le bourrer.

La cartouche de dynamite enflammée par Vêche, est donc bien la cause initiale du coup de poussières qui s'est produit. Je dis coup de poussières, car le grisou ne paraît avoir joué aucun rôle en ce malheureux accident. En effet, Saint-Constant n'est nullement grisouteux et l'on n'y a jamais vu trace de gaz, même dans les mon-

tages. De plus, le hourdage de la cheminée et les remblais voisins sont parfaitement perméables. Toute la partie haute de la mine aurait donc dû être infestée de gaz pour qu'il pût y en avoir au point où la cartouche a été mise. Du reste dans l'hypothèse de la présence du grisou, la cheminée devait en être pleine; car sans cela le gaz aurait détoné dans la cheminée même et le bec aurait sauté. Si la cheminée était pleine, on aurait eu une explosion plus violente, qui se serait probablement propagée dans les parties hautes déjà infestées et l'on y remarquerait quelque désordre. On remarquerait aussi quelque dégât dans la deuxième voie de niveau qui débouche dans la dite cheminée. Enfin, les surveillants connaissent bien le grisou, ils ont tout d'abord visité la partie haute, puis sont montés dans la cheminée et leurs lampes n'y ont point marqué la présence du gaz. D'autre part, ils n'ont pas vu de flamme sur le coup de mine, Fiévet non plus. Comment, du reste, admettre que la cheminée étant pleine de gaz, il n'y en eut pas dans le cul-de-sac et que par suite, les porions n'aient pas été brûlés.

Dans de telles conditions, n'est-il pas permis de penser que la cartouche de dynamite a réduit en menus en les enflammant les charbons à son contact, que de plus elle a soulevé les amas de poussières qui se trouvaient accumulés dans la cheminée. A l'intérieur de celle-ci, la combustion ne fut pas vive probablement, parce qu'il n'y avait pas assez d'air pour que la masse des poussières en suspension put brûler franchement. L'inflammation à l'intérieur de la cheminée se propagea donc sans violence et par l'ouverture du soufflet vint cracher dans la voie de fond un flot de poussières. Celles-ci, brassées avec l'air frais et entraînées par lui vers la troisième cheminée, y brûlèrent vivement, formant presque explosion. A partir de ce point s'éloignèrent alors deux courants d'air vio-

lemment chassés, celui du levant vint enfoncer la porte d'aérage; celui du couchant vint se briser à front de la première taille, se divisant en deux parties, l'une s'infléchissant à angle droit, monta vers la partie haute, l'autre, revenant sur ses pas, bouscula les débris déjà arrachés, de telle sorte que, notamment pour les soufflets, on retrouve des morceaux de planches aussi bien à l'avant qu'à l'arrière.

Cette hypothèse de la cartouche de dynamite enflammant les poussières est en contradiction avec ce qui a été dit des expériences de la Commission Prussienne du grisou, notamment dans diverses réunions de district de la Société de l'Industrie Minérale (*). Ne peut-on pourtant admettre que, dans certains cas tout à fait spéciaux, la dynamite au contact du charbon, agissant d'une façon moins brisante qu'elle ne le fait normalement, ne conserve pas cette précieuse immunité? Quoi qu'il en soit, il est malheureusement trop rare de voir survivre à une explosion soit de grisou, soit de poussières, les auteurs mêmes de l'accident. Aussi, il me paraît intéressant de recueillir et de faire connaître leurs dépositions lorsqu'ils sont en état de raconter les faits avec netteté. C'est du reste surtout par l'étude suivie des accidents que l'on arrivera à mettre bien en évidence les propriétés curieuses du charbon à l'état extrêmement ténu, propriétés que les expériences de laboratoire ne sont pas toujours suffisantes à bien déterminer.

(*) Voir les conclusions résumées *supra*, p. 618-619.

RAPPORT

sur

L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR

DANS LA BRASSERIE PHOCÉENNE

A MARSEILLE

Le 23 juin 1885, une chaudière à vapeur a fait explosion dans la brasserie Phocéenne, à Marseille. Trois ouvriers ont été tués, sept blessés. Les dégâts matériels ont été très considérables.

Les détails qui suivent sont extraits d'un rapport de M. l'ingénieur des mines Oppermann.

Description sommaire des lieux. — La chaudière, entourée par les ateliers de la brasserie sur trois côtés, était séparée d'une maison d'habitation par une petite cour; elle était située dans un sous-sol fortement en contre-bas de la petite cour, de telle sorte que la partie supérieure du dôme de vapeur était à 1 mètre au-dessous du niveau du sol (Pl. IX, fig. 1 et 2). Ce sous-sol était surmonté d'un bâtiment à quatre étages, occupés par des magasins et des appareils que les ouvriers abordaient rarement.

L'axe de la chaudière horizontale était d'ailleurs perpendiculaire à la rue Curiol et par conséquent aux murs de façade et de fond de la maison d'habitation voisine. Le mur de fond était à 8 mètres du parement le plus voisin du générateur.

Dans un local voisin, la brasserie comportait deux autres chaudières à vapeur. L'une, de grandes dimensions, servait habituellement seule aux divers usages de l'usine. L'autre était mise sous pression en même temps que l'appareil qui a fait explosion, tous les deux ou trois mois et seulement durant le temps nécessaire au nettoyage de la grande chaudière.

Description de la chaudière qui a fait explosion. — La chaudière dont l'explosion a causé de si graves accidents, était horizontale, cylindrique, à foyer intérieur également cylindrique, à dôme de vapeur. Les fonds étaient plats et le foyer se liait au fond arrière par une partie tronconique. C'est l'enveloppe extérieure qui s'est déchirée.

Les principales dimensions sont les suivantes :

		mèt.	
Corps cylindrique . . .	} Diamètre	1,450	
		} Longueur	4.900
			Épaisseur des tôles de fer . . . . .	0,013
Foyer	} Diamètre antérieur	0,735	
		Longueur de la partie cylindrique	4,150
Dôme de vapeur	} Longueur de la partie tronconique	0,750	
		Diamètre postérieur de la partie tronconique	0,600
	} Hauteur	1,100	
		Diamètre	1,250

L'enveloppe extérieure comportait trois viroles; les viroles antérieure et intermédiaire avaient environ 2 mètres de longueur suivant leurs génératrices; la virole postérieure ne comptait qu'un mètre de longueur.

Les deux premières comprenaient cinq feuilles de tôle d'égales dimensions; la dernière était composée de quatre feuilles inégales.

Les nombreuses rivures présentaient les dimensions principales suivantes :

Écartement des rivets d'axe en axe. . .	50 millim.
Diamètre des rivets.	20
Recouvrement.	74

Disposition du foyer et des carneaux. — Le foyer intérieur conduisait la flamme d'avant en arrière, puis elle revenait d'arrière en avant par deux carneaux longitudinaux, léchant les parois latérales de l'enveloppe extérieure jusqu'à bonne hauteur au-dessous du niveau de l'eau et limités inférieurement par une murette centrale en maçonnerie de briques ordinaires de 0^m,90 d'épaisseur et 0^m,25 de hauteur, sur laquelle le corps cylindrique reposait à plein dans toute sa longueur.

Appareils de sûreté. — La chaudière était munie des appareils de sûreté réglementaires, savoir :

Deux soupapes de sûreté de dimensions convenables placées sur une boîte commune, à mi-hauteur du dôme ;

Un manomètre métallique Bourdon ;

Un tube indicateur en verre, trois robinets de jauge, un flotteur à sifflet, un flotteur magnétique ;

Un clapet de retenue ;

Un robinet d'arrêt de vapeur.

Origine, déclaration, épreuves, réparations. — Construit chez M. Bastide, à Marseille, et éprouvé une première fois le 15 octobre 1870, ce générateur avait été installé et déclaré dans le cours de la même année à la brasserie Phocéenne.

En 1875, à la suite du remplacement de la tôle du coup de feu, cette chaudière a subi de nouveau, à la date du 17 novembre, l'épreuve réglementaire à 4 k. 1/2.

Sa capacité était de 7^m3,400.

Sa surface de chauffe de 22^m2,60.

Elle était donc de première catégorie et remplissait d'ailleurs les conditions d'emplacement exigées par le décret du 25 janvier 1865.

Ne fonctionnant que quelques jours tous les deux ou trois mois, elle n'était que rarement visitée. MM. Rougier et Bernard se contentaient de faire ramoner les carneaux deux fois par an, mais les tôles n'étaient pas sondées et visitées dans les parties en contact avec les maçonneries et notamment dans celle qui reposait sur la murette médiane.

Circonstances qui ont accompagné l'accident. — L'année précédente, la chaudière avait présenté au moment de sa mise en feu une fuite à un joint, au moment où elle était sous pression et où on allait nettoyer la grande chaudière ; afin d'éviter le retour d'incidents semblables, on avait décidé qu'avant chaque arrêt de la grande chaudière on procéderait à un essai à chaud des chaudières de secours.

C'est précisément un pareil essai qu'on avait commencé le 23 juin 1885. Les feux avaient été allumés à 5 heures du matin et poussés très doucement, de telle sorte qu'à 9 h. 10^m le manomètre indiquait une pression de 2 k. 1/2. Le niveau de l'eau était normal ; une des soupapes, probablement mal rodée, perdait un peu de vapeur.

A 9 h. 14^m, la chaudière faisait explosion avec une violence extrême.

Trois ouvriers ont été retrouvés morts sous les décombres. Sept autres ouvriers ont été blessés et brûlés dans les ateliers voisins.

Les dégâts matériels, considérables, ont principalement porté sur la brasserie Phocéenne ; le bâtiment à quatre étages qui surmontait la chaudière s'est entièrement effondré ; les murs de séparation avec les hangars portent de larges brèches.

Examen des débris et des tôles de la chaudière. — Ce n'est qu'après plusieurs jours de travail que l'on a pu dégager complètement la chaudière et étayer suffisamment

les débris de l'usine; les vapeurs ammoniacales qui se dégageaient des appareils réfrigérants, les débris de toute sorte suspendus aux constructions restées intactes, rendaient pénibles et même dangereux les travaux, poussés avec ardeur par les sapeurs-pompiers et les soldats.

Une fois déblayée, la chaudière s'est montrée par tagée en trois fragments principaux (Pl. IX, *fig. 1, 2*):

1° L'enveloppe extérieure à laquelle adhère le dôme de vapeur, entièrement séparée du foyer et paraissant être retombée sur lui;

2° Le foyer intérieur auquel adhère le parement antérieur;

3° Le parement postérieur entièrement isolé.

Ce dernier a été trouvé sous l'enveloppe extérieure avec divers débris des appareils qui occupaient les étages supérieurs du bâtiment.

Il est donc vraisemblable que la tôle entière de l'enveloppe extérieure a été projetée à une certaine hauteur; elle est venue heurter et enfoncer le mur perpendiculaire à son axe qui bordait la courette et est ensuite retombée sur les autres fragments.

L'examen de la tôle de l'enveloppe extérieure a révélé immédiatement la cause certaine de l'accident du 23 juin. Elle est fendue totalement suivant une génératrice inférieure, le long de la partie qui reposait sur la murette longitudinale séparative des carneaux.

La cornière doublement rivée qui réunissait l'enveloppe extérieure au fond plat antérieur a été entièrement et régulièrement déchirée, de telle sorte que les tôles sont développées suivant leur bord rectiligne, à peine entamé par quelques déchirures (Pl. IX, *fig. 3*).

A l'arrière la troisième virole du corps cylindrique s'est déchirée en pleine tôle irrégulièrement.

En somme, l'enveloppe extérieure a été projetée presque entièrement développée. Elle est criblée de fissures

accessoires, en général dirigées suivant les génératrices. M. l'ingénieur Oppermann a donné des coupes détaillées à grande échelle, qui montrent nettement les corrosions extraordinaires subies par la tôle dans toute la partie qui reposait sur la murette longitudinale. L'épaisseur y varie entre 12^{mm},5 et moins de 1 millimètre.

1° *Coupe longitudinale* (Pl. IX, *fig. 4*).— Parallèlement aux génératrices et suivant le plan vertical passant par l'axe du corps cylindrique, les corrosions affectent une disposition régulière fort instructive: la première grande virole de l'avant conserve une épaisseur variant entre 12^{mm},5 et 11^{mm},8 jusqu'à 60 centimètres de la rivure circulaire qui la réunit à la deuxième grande virole (formant manchon extérieur à plus grand diamètre). Puis l'épaisseur décroît progressivement jusqu'à 1 millimètre et remonte brusquement à 12 millimètres sous le recouvrement.

La grande virole médiane présente également deux minima brusques de 2^{mm},2 immédiatement contre les deux rivures circulaires qui la relie aux viroles voisines, et remonte à un maximum de 11^{mm},1 à peu près en son milieu.

Enfin la troisième virole (d'arrière), plus petite que les deux précédentes, offre, comme la première, une profonde érosion au voisinage de la rivure avec la seconde, à pic du côté des rivets, à lent décroissement du côté opposé.

2° *Coupes perpendiculaires à l'axe* (Pl. IX, *fig. 5, 6 et 7*).— Les coupes perpendiculaires à l'axe sont plus irrégulières, mais témoignent aussi de profondes corrosions au voisinage des lignes de rivures longitudinales.

M. Oppermann a constaté en outre que les rivures ont dû être mal faites; ainsi, dans le voisinage de la grande ligne de rupture, certains rivets jouent dans leur logement, ils ont le corps usé, la tête entièrement rongée. Les trous des deux tôles à réunir n'ont pas toujours été

placés dans le même axe et le corps de certains rivets avait pris de l'inclinaison.

Enfin, un défaut de construction grave et patent a pu être relevé; les tôles des deux premières viroles ont été cintrées perpendiculairement au sens du laminage; les fibres du métal étaient donc parallèles aux génératrices.

Essais faits sur les tôles saines de la chaudière

par M. Oppermann.

	Rupture.	Allongement.
Dans le sens du laminage.	29 ^k ,51	6 p. 100
Perpendiculairement.	24 ^k ,64	4 —

Ces chiffres indiquent une tôle de qualité médiocre.

Causes de l'accident. — M. l'Ingénieur ordinaire conclut de ce qui précède que les vices de construction signalés plus haut ont amené des fuites le long des tôles qui reposaient sur la murette. Cette dernière s'est imbibée de liquide, surtout au droit des lignes de rivure, justement aux points où des corrosions si manifestes ont été signalées.

Les visites superficielles, auxquelles on procédait, n'ont pu révéler ces dangereuses avaries, qu'un essai à froid aurait sans doute manifestées. L'épreuve décennale réglementaire ne devait avoir lieu que le 17 novembre 1885, mais les visites prévues par l'article 36 du décret du 30 avril 1880 n'ont pas été faites.

Avis de l'Ingénieur en chef. — M. l'Ingénieur en chef de Gizancourt adopte les conclusions précédentes. Il remarque que l'emploi discontinu et les chômages fréquents de l'appareil ne tombent pas dans le cas du chômage prolongé prévu par l'article 3 du décret du 30 avril 1880; mais cet emploi irrégulier aurait dû appeler l'attention des industriels intéressés sur l'utilité d'épreuves à froid plus répétées.

En outre et quelle que soit l'influence de la mauvaise construction sur la rapidité avec laquelle les tôles se sont corrodées, des visites extérieures consciencieuses auraient révélé la cause si patente de danger que cette chaudière présentait sans doute depuis longtemps.

Avis du rapporteur. — Les faits constatés plus haut fixent péremptoirement la cause même de l'accident du 23 juin 1885; sur 90 centimètres de largeur et suivant toute la longueur de ses génératrices inférieures, l'enveloppe extérieure de la chaudière reposait sur une murette en maçonnerie longitudinale, qui s'est imprégnée de liquide. Les corrosions se sont surtout attaquées aux deux côtés des lignes de rivets; elles ont été tellement intenses que l'épaisseur du métal, primitivement de 13 millimètres, a été réduite par places à moins de 1 millimètre. Pendant les neuf premières années, MM. Rougier et Bernard ont brûlé du lignite de Fuveau, qui est sensiblement pyriteux et dont les fumées ont pu contribuer à rendre corrosifs les liquides imprégnant la murette. Durant les deux dernières années, on a consommé du charbon de Cardiff.

Deux défauts graves de construction ont été relevés: le premier, indubitable, consiste en ce que les tôles des deux plus grandes viroles ont été cintrées perpendiculairement au sens du laminage; cette disposition vicieuse a diminué la résistance de l'appareil suivant les sections passant par son axe, et rendu plus facile la déchirure suivant les génératrices inférieures du corps cylindrique.

Le second défaut relevé consiste dans la mauvaise confection des lignes de rivure qui ont dû favoriser les fuites, faciliter l'imprégnation de la murette et finalement causer les corrosions auxquelles l'appareil a succombé. Mais il convient de remarquer que les rivures se prolongeaient au delà de la partie reposant sur la murette, et que dans

les portions de la chaudière où le jeu des dilatations se produisait librement, elles n'ont donné lieu à aucune fuite constatée, à aucune corrosion manifeste. Tout en admettant que les rivures étaient peu soignées, il est donc utile de remarquer que c'est leur contact avec la maçonnerie qui a pour ainsi dire exagéré l'inconvénient de leur malfaçon. Le rapporteur considère donc que l'agencement du fourneau, et la façon dont la chaudière était portée par la maçonnerie, sont plus répréhensibles que les rivures ne paraissaient défectueuses.

D'ailleurs, la chaudière était en usage depuis quinze ans, et les vices de construction qui mettent un pareil laps de temps à se manifester peuvent toujours être considérés comme accompagnés et aggravés par un entretien défectueux.

Tel est, en effet, le cas dans l'espèce : on peut affirmer que des visites complètes du générateur qui a fait explosion auraient permis de découvrir les corrosions dangereuses qui ont peu à peu rongé ses tôles, et d'éviter tout accident. Ces visites étaient d'ailleurs d'obligation d'autant plus stricte que la chaudière était soumise périodiquement à des chômages prolongés.

En conséquence, le rapporteur a l'honneur de soumettre à l'approbation de la commission centrale l'avis suivant :

« L'explosion du 23 juin 1885 est due à l'existence préalable de corrosions profondes intéressant la partie inférieure du corps cylindrique de la chaudière, qui reposait par ses génératrices inférieures sur une murette en maçonnerie longitudinale, large de 90 centimètres et séparant les deux carneaux latéraux de retour de flamme.

« Les corrosions se sont principalement produites sur les bords des lignes de rivets, dans toute la partie de la chaudière qui reposait sur la murette longitudinale. Elles paraissent donc en relation avec des fuites qui se seront

échappées des rivures. La façon peu soignée de ces rivures, le poids total de l'appareil s'appuyant dans leur voisinage et se combinant avec les mouvements de dilatation du métal, ont sans doute contribué à développer ces fuites, qui ne se sont pas manifestées en dehors des parties reposant sur la maçonnerie.

« Il y a lieu de considérer la construction du fourneau de l'appareil comme défectueuse, puisque d'une part elle a contribué à provoquer des fuites, et d'autre part elle a exagéré le danger de leurs conséquences en les masquant et en permettant à la maçonnerie de s'imprégner de liquide au contact du métal.

« Dans de pareilles circonstances, et les corrosions augmentant incessamment, l'enveloppe extérieure a fini par se rompre sous une pression très modérée ; elle a cédé le long de sa génératrice inférieure extraordinairement affaiblie, et s'est ensuite entièrement développée, donnant brusquement issue à toute l'eau contenue dans le générateur.

« Des visites consciencieuses, conformes aux prescriptions de l'article 36 du décret du 30 avril 1880, auraient certainement permis de reconnaître la cause permanente de danger que présentaient de si profondes corrosions. Ces visites étaient d'autant plus indispensables que l'appareil, soumis à des chômages répétés, exigeait un entretien soigné ».

L'ingénieur en chef des mines, rapporteur,

Signé : MICHEL LÉVY.

Dans sa séance du 13 octobre 1885, la commission centrale des machines à vapeur a adopté l'avis proposé par le rapporteur.

BULLETIN.

ACTES DE COURAGE ET DE DÉVOUEMENT.

ACCIDENTS ARRIVÉS DANS LES MINES ET LES CARRIÈRES.

Extrait de rapports du ministre de l'intérieur approuvés par le Président de la République en 1885 (*).

NOMS, et prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées.	
			MÉDAILLES en or. en argent.	MENTIONS honorables. — LITRES de félicitations.
20 février 1885.				
ILLE - ET - VILAINE.				
MARAIS (Pierre), maître carrier à Pontréan, commune de Guichen.	Bruz. Accident du 6 juin 1884.	A dirigé avec un remarquable dévouement les travaux de sauve- tage nécessités par un éboulement survenu dans une carrière de schistes et sous lequel huit ou- vriers, dont on n'a pu retirer que les cadavres, avaient été ensevelis.	2 ^e	Lettre de félicitations.
19 mars 1885.				
PAS-DE-CALAIS.				
SOUBEIRAN, ingénieur ordinaire des mines à Arras.	Concession houillère de Bully-Grenay. Accident du 17 oct. 1884.	A fait preuve de courage et de la plus intelligente initiative en dirigeant les travaux nécessités par un éboulement sous lequel quatre ouvriers étaient ensevelis et dont un seul a pu échapper à la mort.	1 ^{re}	Lettre de félicitations.
HUAWART (Arthur- Norbert), ouv. mineur. BOURRIER (Palmyre), ouvrier mineur.	Id.	Se sont exposés aux plus grands dangers et ont montré autant d'ha- bileté que de sang-froid dans l'exé- cution des travaux de sauvetage.	1 ^{re}	

(* C'est cet extrait fait suite à celui qui a été publié dans le 2^e volume de 1884 (Bull.), p. 565.

NOMS, et prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées.	
			MÉDAILLES en or. en argent.	MENTIONS honorables. — LITRES de félicitations.
19 mars 1885 (suite).				
PAS-DE-CALAIS.				
			classes	
			2 ^e	Lettre de félicitations. Id.
			2 ^e	
			SEINE - INFÉRIEURE.	
			2 ^e	Lettre de félicitations.
			2 ^e	
25 avril 1885.				
PAS-DE-CALAIS.				
			Mention honorabile.	
			Id.	
23 juin 1885.				
SEINE - ET - OISE.				
			2 ^e	Lettre de félicitations.
			1 ^{re}	

... (Aug.), porion.
... (Olivier), id.
... ingénieur
en chef.
... ingénieur
divisionnaire.

Concession
houillère de
Bully-Grenay.
Accident du
17 oct. 1884
(suite).

Ont pris une part active à tous
les travaux dangereux.
Ont surveillé l'exécution de ces
mêmes travaux avec une infatiga-
ble vigilance.

2^e
2^e

Lettre de
félicitations.
Id.

... (Célestin-
...), maneur
aux Loges.
... (Emile-
...), maneur
Fongeuemare.
... (Lucien-Lucius),
... à Ecrainville.

Fongeuemare.
Accident du
6 nov. 1884.

Ont bravé tous les dangers pour
retrouver dans une carrière souf-
teraine les corps de deux ouvriers
tués par suite d'un éboulement.

2^e
2^e

Lettre de
félicitations.

... (Henri),
... à la Compagnie
des Courrières.
... (Louis),
... mineur
... Compagnie.

Concession
houillère
de Courrières.
Accident du
28 mars 1883.

Ont opéré le sauvetage d'un de
leurs camarades qui était tombé
d'une hauteur de 50 mètres au
fond d'un puisard.

Mention
honorabile.
Id.

... (Amédée-
...-Maurice),
... puisatier
à Bullion.
... (Léon-Alphonse),
... ordinaire
des mines à Paris.

Rambouillet.
Accident du
22-26 août
1884.

Se sont particulièrement distin-
gués lors des travaux aussi diffi-
ciles que dangereux entrepris pour
le sauvetage d'un ouvrier puisatier
enseveli sous un éboulement au
fond d'un puits et dont on n'a pu
retrouver que le cadavre.

2^e
1^{re}

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées.		
			MÉDAILLES en or. en argent.		
23 juin 1885 (suite).					
SEINE-ET-OISE. classes					
WALDMANN (Léon-Henri), ingénieur ordinaire des ponts et chaussées à Versailles.	Rambouillet. Accident du 22-26 août 1884 (suite).	Se sont particulièrement distingués lors des travaux aussi difficiles que dangereux entrepris pour le sauvetage d'un ouvrier puisatier enseveli sous un éboulement au fond d'un puits et dont on n'a pu retrouver que le cadavre.		1 ^{re}	
BAUMGARTH (Eugène), conducteur des ponts et chaussées à Rambouillet.	Id.	Ont coopéré aux mêmes travaux avec un zèle et un dévouement dignes des plus grands éloges.		2 ^e	
CUVILLIER (Théophile-Constant), garde-mines à Versailles.					
8 juillet 1885.					
PAS-DE-CALAIS.					
DINOIR, ingénieur aux mines de Lens.	Concession houillère de Liévin. Accident du 14 janv. 1885.	Se sont particulièrement distingués en travaillant au sauvetage des victimes d'une explosion de grisou survenue à la concession de Liévin.	2 ^e		
CAULIER (Henri), porion.			2 ^e		
BÉDARD (Jean-Bapt.), mineur à Liévin.				2 ^e	
LEMAIRE (Louis), mineur au même lieu.				2 ^e	
COILLOT (Elié), boute-feu à Liévin.				2 ^e	
WAUQUIER (François), boute-feu au même lieu.				2 ^e	
FONTAINE (Emile), mineur au même lieu.				2 ^e	
URBAIN (François), boute-feu au même lieu.	Id.	Ont coopéré avec zèle aux mêmes travaux de sauvetage.			
DUBOIS (Désiré), mineur au même lieu.					
ENLEBERT (Auguste), mineur au même lieu.					
LOEZ (Jean-Baptiste), mineur au même lieu.					

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées.		
			MÉDAILLES en or. en argent.	MENTIONS honorables. — LETTRES de félicitations.	
23 septembre 1885.					
BASSES-PYRÉNÉES. classes					
BOIES (Jean-Pierre), maire de Laruns.	Mines d'Arre. Accident du 18 nov. 1882.	S'est signalé par son courage et son dévouement lors de la catastrophe des mines d'Arre.		2 ^e	
HAUTE-SAÔNE.					
ANDRÉ (Jules), mineur aux houillères de Ronchamp.	Concession houillère de Ronchamp. Accident du 8 janv. 1885.	S'est tout particulièrement distingué en sauvant un maître mineur. Avait déjà, à trois reprises différentes, en 1876 et 1877, opéré des sauvetages analogues.		1 ^{re}	
17 novembre 1885.					
MEURTHE-ET-MOSELLE.					
STORIUS (Auguste), charretier, Ville-sur-Yron.	Ville-s.-Yron. Accident du 5 octobre 1885.	N'a pas hésité à descendre, à deux reprises et au péril de sa vie, dans un puits profond de 10 mètres pour en retirer deux ouvriers qui y étaient tombés asphyxiés.		2 ^e	
17 décembre 1885.					
SAÔNE-ET-LOIRE.					
METINON (Pierre), maître mineur à la concession schistes bitumineux de Surmoulin.	Concession de Surmoulin. Accident du 28 juin 1885.	Sauvetage de deux ouvriers ensevelis sous un éboulement survenu dans le puits des Thélots.		2 ^e	

**STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BELGIQUE
POUR L'ANNÉE 1884.**

Houille. — Les charbonnages belges ont, en 1884, produit 18.051.499 tonnes de houille, qui se décomposent comme suit :

	QUANTITÉ.	VALEUR.
Hainaut	13.510.996 tonnes	129.627.000 fr.
Namur	477.439	3.401.000
Liège	4.063.064	39.004.000
Ensemble	18.051.499 tonnes	172.032.000 fr.

Le prix moyen de vente n'a été, d'après cela, que de 9^f,53 par tonne.

Il y a eu pendant l'année 289 sièges d'exploitation en activité, 73 en réserve et 18 en construction.

Le tableau suivant donne la répartition des ouvriers employés dans les charbonnages :

	A l'intérieur.	A la surface.	Ensemble.
Hommes	64.354	16.263	80.617
Femmes	5.102	4.051	9.153
Garçons au-dessous de 16 ans	8.660	2.484	11.144
Filles au-dessous de 16 ans	2.154	2.514	4.668
Totaux	80.270	25.312	105.582

Le salaire total payé à ces 105.582 ouvriers s'est élevé à 96.458.000 francs, d'où ressort un salaire moyen journalier de 3^f,05 en comptant 300 jours de travail dans l'année.

Les frais d'exploitation se composent, pour l'année, de :

Salaires	96.458.000 fr.
Autres dépenses	69.315.000

Total 165.773.000 fr.

Il résulte de ce chiffre un prix de revient moyen de 9^f,18 par tonne, qui, comparé au prix de vente indiqué plus haut, donne un bénéfice moyen, par tonne, de 0^f,35 seulement; le tableau suivant, qui résume la marche de l'industrie houillère pendant les 15 dernières années, montre du reste qu'il y a eu à cet égard amélioration sur les années précédentes.

ANNÉES.	PRODUCTION.	PRIX	BÉNÉFICE	BÉNÉFICE	OUVRIERS.	
		de vente à la tonne.	à la tonne.	moyen par tonne.	Nombre.	Salaire annuel moyen.
	tonnes	francs	francs	francs		francs
1870	13.697.118	10,86	12.471.000	0,91	91.993	878
1871	13.733.176	11,20	14.290.000	1,04	94.286	864
1872	15.658.948	13,32	35.529.000	2,27	98.863	1.047
1873	15.778.401	21,40	93.495.000	5,93	107.902	1.353
1874	14.669.029	16,42	22.962.000	1,56	109.634	1.184
1875	15.011.351	15,31	12.896.000	0,86	110.720	1.163
1876	14.329.578	13,55	3.758.000	0,26	108.543	1.031
1877	13.938.523	10,97	-1.107.000*	-0,08*	101.343	835
1878	14.899.175	9,92	-1.543.000*	-0,10*	99.032	842
1879	15.447.292	9,39	-1.174.000*	-0,07*	97.714	809
1880	16.886.698	10,06	3.846.000	0,23	102.930	920
1881	16.873.951	9,70	-1.469.000*	-0,09*	101.351	931
1882	17.590.989	10,00	4.776.000	0,27	103.701	926
1883	18.177.754	10,17	4.558.000	0,25	106.252	1.006
1884	18.051.499	9,53	6.259.000	0,35	105.582	914

* Perte.

Si l'on distingue, pour l'année 1884, les mines en gain et les mines en perte, on a :

Charbonnages en gain	{	Nombre	78
		Bénéfices	10.289.000 fr.
Charbonnages en perte	{	Nombre	71
		Pertes	4.030.000 fr.

Il a été fabriqué, en 1884, 1.812.148 tonnes de coke d'une valeur moyenne de 14^f,87; cette fabrication a consommé 2.477.712 tonnes de houille.

Il a été importé 1.223.691 tonnes de houille et 32.313 tonnes de coke; l'exportation s'est élevée à 4.619.192 tonnes de houille et 854.258 tonnes de coke.

Fer. — La Belgique a produit, en 1884, 176.755 tonnes de minerais de fer (minerai lavé), valant 1.280.000 francs. Les hauts fourneaux ont consommé :

Minerais belges	153.987 tonnes.
— étrangers	1.514.187
Scories et mitraille	282.819

et ont produit 750.812 tonnes de fonte, valant 37.785.000 francs. Les usines à fer ont livré 471.040 tonnes de fers finis, d'une

valeur de 67.937.000 francs, et les aciéries 153.999 tonnes de produits finis, valant 20.622.000 francs; ces derniers chiffres comprennent 112.930 tonnes de rails d'acier, d'une valeur de 13.115.000 francs.

Métaux autres que le fer. — Les mines métalliques ont livré, en 1884, les quantités suivantes :

Minerais de zinc	27.606 tonnes, valant 1.014.000 fr.		
— de plomb	1.796 " "	257.000	
Pyrite de fer	2.243 " "	35.000	

Les usines à zinc ont consommé 24.171 tonnes de minerai indigène et 169 587 tonnes de minerai étranger; elles ont produit 77.487 tonnes de zinc brut, valant 26.633.000 francs.

Les usines à plomb ont consommé 334 tonnes de minerais belges, 10.939 tonnes de minerais étrangers et 11.380 tonnes de produits secondaires; elles ont livré 7 751 tonnes de plomb brut, d'une valeur de 2.062.000 francs et 9.956 kilogrammes d'argent, valant 1.834.000 francs.

Accidents. — Le tableau ci-dessous résume les accidents survenus en 1884 dans les établissements ressortissant au service des mines :

	NOMBRE d'accidents.	TUÉS.	BLESSÉS.
Charbonnages	250	236	81
Mines métalliques et minières . .	6	3	1
Carrières souterraines	2	2	"
Usines métallurgiques	3	4	1
Totaux	261	245	83

Rapporté au nombre total des ouvriers employés dans les houillères, tant à la surface qu'au fond, ce chiffre de 236 donne une proportion de 2,24 tués pour 1.000 ouvriers employés aux charbonnages. Les accidents qui ont fait le plus de victimes dans l'industrie houillère sont d'abord les éboulements, chutes de blocs (87 accidents, 72 tués, 16 blessés), puis les inflammations de grisou (7 accidents, 48 tués, 13 blessés).

(Extrait de la Statistique des mines, minières, carrières, usines métallurgiques et appareils à vapeur pour l'année 1884, par M. HARZÉ, ingénieur en chef des mines. Annales des travaux publics de Belgique.)

NOTE SUR LES GITES DE BORAX DE LA CALIFORNIE ET DE L'ÉTAT DE NEVADA.

L'acide borique ne s'est rencontré jusqu'à présent aux États-Unis, en quantité suffisante pour être l'objet d'une exploitation fructueuse, que dans les deux États de Californie et de Nevada.

On le trouve, à l'état libre, dans la plupart des lacs salés de ces régions, dans les nombreuses sources thermales qui jalonnent le pied des Coast Range, dans les volcans de boue de San-Diégó, et enfin dans les eaux de l'Océan, le long des rivages de l'Orégon et de la Californie.

On y trouve également, et plus souvent même, l'acide borique à l'état de combinaison, sous forme de biborate de soude ou *borax*, de borate sodico-calcique ou *Ulexite*, de borate de magnésie ou *boracite*, et enfin à l'état d'espèces minérales rares, telles que les diverses variétés de borates calciques dénommées : *Cryptomorphite*, *Pricéite*, *Pandermite*, *Colemanite*, *Bechilite* et *Howlite*.

§ I. — DESCRIPTION SOMMAIRE DES GITES.

Comme toutes les substances solubles dans l'eau, le borax ne se rencontre, ni dans les strates des terrains sédimentaires proprement dits, ni dans les filons éruptifs ou de remplissage hydrothermal.

Il est, au contraire, essentiellement concentré, soit sous forme de dépôts superficiels, occupant des dépressions qui sont vraisemblablement d'anciens fonds de lacs desséchés, soit sous forme de sources thermales ou de lacs, tels que les lacs de Borax et de Hachinhamá.

Ces gîtes ne sont d'ailleurs pas répartis au hasard; ils sont en relation immédiate avec les grandes lignes de dislocation du sol et se trouvent toujours au voisinage des points où l'éruptivité se manifeste encore aujourd'hui sous forme d'émanations solfatarieuses, de suffioni et de salses, derniers témoins de cette grande période éruptive qui, à la fin de l'époque tertiaire, a provoqué l'épanchement des laves trachytiques si abondamment répandues dans toute la Californie.

Dans leur ensemble, les divers gîtes d'acide borique peuvent se grouper en deux zones distinctes, parallèles à la direction générale de la Sierra Nevada et des Coast Range et orientées, par

suite, comme les axes de ces deux chaînes et comme la ligne médiane du cours du Sacramento qui les sépare, savoir : N. 31° 0. L'une de ces zones comprend les gîtes situés entre le versant occidental de la Sierra Nevada et des Coast Range, c'est-à-dire la plupart des gîtes de la Californie; l'autre embrasse ceux qui sont placés sur le versant oriental de la Sierra Nevada.

I. — Gîtes de la zone des Coast Range (Californie).

A. Lac de Borax.

C'est le premier gîte de borax que l'on ait exploité en Californie. Il a été découvert en 1856 par le Dr J.-A. Veatch, et jusqu'en 1866 il a été l'objet d'une exploitation fructueuse. Sa superficie est variable avec les saisons, car il ne reçoit aucun cours d'eau, et n'est alimenté que par les eaux atmosphériques, peu abondantes dans la région.

Il est situé à l'extrémité S.-O. du lac Clear, dont il n'est séparé que par une colline formée de débris d'obsidienne et de roches ponçueuses. En face, à l'extrémité S.-E. du lac, se trouve une colline de 30 mètres de hauteur, de 600 mètres de longueur et de 300 mètres de large, formée de laves trachytiques, décomposées et métamorphosées par les nombreuses émanations sulfatariennes qui se sont fait jour à travers les fissures de la roche. Primitivement, cette colline était couverte d'une croûte épaisse de soufre natif d'où le nom de *Sulphur bank* qui lui avait été donné par le Dr Veatch. Ce n'est qu'en 1874 que l'on s'aperçut que, dans la profondeur, le cinabre était associé au soufre et faisait de cette colline un gîte de mercure extrêmement précieux. Aujourd'hui *Sulphur bank* est une des mines de mercure les plus importantes de l'État de Californie et on l'exploite activement.

L'activité interne se manifeste aujourd'hui encore, d'une façon permanente, aux environs du gîte mercuriel et tout autour du lac de Borax, par de nombreuses émanations sulfureuses et par des sources thermales abondantes, tenant en dissolution des sels alcalins et en particulier le biborate de soude; mais c'est dans le Lac de Borax lui-même que ce dernier sel est particulièrement concentré.

Les eaux du lac sont, en effet, fortement alcalines et tiennent en dissolution environ 4 p. 100 de sels, dont l'analyse a donné les résultats suivants :

Carbonate de soude	61,8
Chlorure de sodium	20,4
Biborate de soude	17,8
	<hr/>
	100,0

Ces chiffres correspondent sensiblement à 7 grammes de borax par litre d'eau.

Mais la particularité la plus remarquable qu'a présentée ce lac, c'est que son fond est constitué par une masse boueuse, de 1^m,50 environ d'épaisseur, tenant des proportions variables d'acide borique et dans laquelle on a trouvé des quantités innombrables de cristaux de borax. Les cristaux commencent à apparaître à 20 centimètres au-dessous de la surface du lit argileux, et cessent brusquement à 1^m,70 de profondeur et à 30 centimètres environ au-dessus d'un banc d'une argile bleue, compacte, saturée de sels alcalins sodiques divers dont l'épaisseur n'a pas été reconnue.

Les cristaux de borax sont d'ailleurs fort inégalement répartis; tantôt ils font absolument défaut, en d'autres points, au contraire, ils sont si nombreux qu'ils sont juxtaposés les uns aux autres sans interposition d'argile.

Leurs dimensions augmentent avec la profondeur. A 1^m,50 de la surface, c'est-à-dire à la partie inférieure de la zone boueuse, les plus petits cristaux ont 5 centimètres de longueur et il n'est pas rare d'en trouver qui mesurent de 8 à 20 centimètres de longueur sur 10 centimètres d'épaisseur.

Tous ces cristaux sont légèrement teintés en vert et le borax raffiné qu'on en retirait ultérieurement était exceptionnellement pur, ainsi qu'on peut le constater sur l'analyse suivante faite à San-Francisco.

Biborate de soude pur et sec	54,39
Eau de cristallisation	45,53
Sulfate de soude sec	0,06
Chlorure de sodium	traces
Résidu insoluble	traces
	<hr/>
	100,00

B. Lac Hachinhama.

Le lac d'Hachinhama, d'une étendue de 5 hectares environ, n'a été exploité qu'en 1868, après l'abandon du lac de Borax. Il est situé à 6 kilomètres à l'ouest de ce dernier et, comme lui, n'est alimenté que par les eaux atmosphériques.

Ses eaux tiennent en dissolution du carbonate de soude, du chlorure de sodium et du biborate de soude dans des proportions plus élevées que celles du lac de Borax.

Les mêmes sels, associés à l'acide borique, se trouvent encore dans le lit argileux qui constitue le fond du lac; mais ici le biborate de soude ne s'est pas isolé en cristaux. Aussi l'exploitation a-t-elle porté principalement sur les eaux du lac elles-mêmes et sur les efflorescences qui se formaient sur le fond desséché de ce dernier pendant la saison chaude. Cette exploitation a cessé en 1874, lors de la découverte des grands gîtes de borax dans l'État de Nevada. Au moment de sa plus grande activité, elle fournissait annuellement 250 tonnes environ de borax.

C. Gîtes du comté de San-Bernardino.

Le principal gîte du comté de San-Bernardino est situé à sept journées de marche de la station de Mohave; il a été découvert, le 14 février 1873, par MM. Dennys Scarles et Schillings et mis en exploitation dès 1874.

Le gîte occupe un ancien fond de lac desséché et se présente sous forme d'un dépôt irrégulier de 8 kilomètres de long sur 12 kilomètres de large. Il est constitué superficiellement par un mélange de sable et de borax, unis dans des proportions telles qu'il faut traiter 13 tonnes de ce mélange pour en retirer 1 tonne de borax. A 30 centimètres au-dessous de la surface, on trouve le borax en masses cristallines, associé à du sel gemme et à de la Thénardite.

Le borax, après avoir été concentré et raffiné sur place, présente la composition suivante :

Biborate de soude	52,80
Eau de cristallisation	47,05
Chlorure de sodium	traces
Sulfate de soude	"
Résidu insoluble	"
	<hr/>
	99,85

Des dépôts de borate de chaux, variété *Priceite*, ont été signalés dans la même couche, dans le voisinage de la ville de Calico. On a également trouvé des dépôts de borate sodico-calcique, mélangé avec du carbonate de soude, dans le voisinage de la ville de Dagget.

D. Gîtes du comté de Kern.

On a découvert, en 1873, dans le comté de Kern, de nombreux dépôts de borate sodico-calcique ou *Ulexite*. Ces dépôts, d'une étendue de 2 à 3 hectares, ont été activement exploités.

II. — Gîtes de la 2^e zone (Versant oriental de la Sierra Nevada).

Les gîtes de borax de la deuxième zone sont tous compris dans la grande dépression qui sépare les Montagnes Rocheuses de la Sierra Nevada et dont la partie méridionale seule communique avec la mer par le Rio Colorado.

La partie septentrionale, au contraire, c'est-à-dire celle qui s'étend depuis l'Orégon jusqu'à l'Arizona, et qui porte le nom de *Grand Bassin* ou celui de *Désert de Humboldt*, comprend un vaste territoire dont les eaux se rendent dans une série de lacs intérieurs de toutes dimensions (Lac-Salé, Lac de Humboldt, Lac Mono, Lac Owens) où elles ont accumulé, et accumulent partiellement encore, les sels enlevés par lavage aux puissantes alluvions pliocènes de cette vaste région.

C'est sur le bord occidental de ce bassin intérieur, au pied de la Sierra Nevada, que se rencontrent les gîtes de borax de la deuxième zone dont le développement du N.-O. au S.-E. n'atteint pas moins de 675 kilomètres.

A. Gîtes du comté d'Inyo.

Les gîtes du comté d'Inyo sont encore géographiquement compris dans l'État de Californie. Ils ont été découverts dans les vallées de la *Mort* (*Death Valley*), du *Furnace Creek* et de l'*Amargosa*.

La *vallée de la Mort*, dirigée sensiblement N.-S., présente cette particularité curieuse d'avoir son point le plus bas à 100 pieds au-dessous du niveau de la mer. Elle est creusée dans des grès et des calcaires fossilifères dont l'âge n'est pas déterminé. On y a trouvé, à une certaine hauteur au-dessus du niveau du thalweg, un dépôt de borax extrêmement pur; un dépôt analogue existe un peu plus au sud dans la même vallée, mais à un niveau inférieur.

Dans la vallée du *Furnace Creek*, on a signalé également des

dépôts de borax sodico-calcique associé à de la *Colemanite* et à de la *Pandermite*.

Enfin, dans la vallée de l'*Amargosa*, se trouvent de nombreux dépôts de borax associés à du sel gemme, à de la *Thénardite* et à du *Tron* (sulfocarbonate de soude).

C'est dans le voisinage de ces divers gîtes que l'on rencontre de nombreuses sources thermales et des volcans de boue dont les eaux, fortement alcalines, contiennent toutes des proportions variables d'acide borique.

B. Gîtes du comté d'Esmeralda (État de Nevada).

a. **Gîte de Columbus marsh.** — Ce gîte est situé à 150 milles de Carson et à peu près à la même distance de la station de Wodsworth, sur le *Central Pacific Railroad*. C'est un grand dépôt irrégulièrement ovale, de 15 kilomètres de longueur sur 11 kilomètres de large, constitué, au centre, par une croûte de sel de faible épaisseur et aux deux extrémités par du borate de chaux en quantités assez importantes. Le borate de chaux se présente à la surface à l'état d'efflorescences; dans le sol, à une certaine profondeur, on le trouve à l'état de boules formées de filaments soyeux et brillants. Tous ces sels reposent sur une couche d'argile de 0^m,60 d'épaisseur, au-dessous de laquelle vient un banc de sulfate de soude assez épais, auquel succèdent des alternances d'argile et de sable en lits minces, absolument dépourvus de borates et autres sels alcalins.

b. **Gîte de Rhodes' marsh.** — Ce gîte est situé à 19 kilomètres au N.-O. de Columbus. Il se présente sous la forme d'un dépôt circulaire ayant 4¹/₅ de diamètre environ, soit 15 kilomètres carrés de surface.

Sa partie centrale, sur une étendue d'environ 2 kilomètres carrés, est entièrement couverte de sel pur.

Sur le pourtour, au contraire, la nature du dépôt est extrêmement variable et l'on y trouve le borax sous trois états différents:

- 1° A l'état d'efflorescences mélangées avec du sable;
- 2° A l'état de cristaux plus ou moins développés qui se rencontrent par places, au-dessous de la surface, disséminés dans une argile bleue compacte;
- 3° A l'état de borate sodico-calcique, se présentant sous forme de boules blanches soyeuses, disséminées dans une argile analogue à celle où l'on trouve les cristaux de borax.

A une certaine profondeur au-dessous de la surface, on a rencontré un banc de sulfate de soude d'une très grande épaisseur, et en un point du gîte on a trouvé du carbonate de soude assez pur pour qu'il pût être exploité.

Les analyses suivantes donnent une idée de la valeur du minerai de borax:

	n° 1	n° 2
Biborate de soude.	40,06	57,20
Borate de chaux.	1,16	5,80
Sulfate de soude.	16,00	10,70
Carbonate de soude.	5,00	»
Chlorure de sodium.	8,07	9,00
Matières organiques, sable.	29,71	17,30
	100,00	100,00

Des usines placées à côté du gîte concentrent et raffinent le borax. Elles produisent 1 tonne de borax raffiné par jour.

c. **Gîte de Teel's marsh.** — Le gîte de Teel's Marsh est situé à 24 kilomètres au sud ville de Columbus.

C'est un dépôt superficiel de borax brut de 9 à 10 kilomètres de longueur avec 4 kilomètres de largeur et une épaisseur variant de 0^m,012 à 0^m,45.

Ce gîte, très activement exploité, a fourni des quantités considérables de borax.

d. **Gîte de Fish Lake.** — Le gîte de Fish Lake se trouve à 16 kilomètres au sud du gîte de Columbus marsh et occupe une étendue de 4.000 hectares.

A son extrémité septentrionale, il se présente sous forme d'une croûte de 0^m,20 d'épaisseur, tenant 20 p. 100 d'acide borique et 45 p. 100 d'autres sels solubles. Vers la partie centrale, on rencontre des efflorescences d'aspect neigeux et composées d'un mélange intime de borates et de sels alcalins divers. Enfin, au sud du gîte, on trouve une croûte mince de borax, recouvrant un sol sableux imprégné, jusqu'à une certaine profondeur, de borate de soude et de chaux.

§ II. — ÉLABORATION DES SELS BORIQUES.

A. — Préparation du borax.

Le borax cru, tel qu'il provient des gîtes, est toujours sali par des matières terreuses et organiques et ne saurait être livré

au commerce en cet état. Aussi les compagnies ont-elles installé, dans le voisinage des dépôts qu'elles exploitent, des usines où s'opèrent la concentration et le raffinage du minerai brut. Les opérations que l'on fait subir à ce dernier sont partout les mêmes et peuvent se résumer dans la formule suivante :

a. Fabrication du borax concentré. — 1° Dissolution du borax brut dans l'eau bouillante et concentration de la liqueur jusqu'à 20 ou 25° de l'aréomètre Baumé; 2° décantation de la liqueur claire, tenant en dissolution le borax dans de grands cristallisoirs, où, par refroidissement lent, la liqueur laisse déposer le borax sous forme de cristaux.

b. Raffinage du borax. — Le borax ainsi obtenu est désigné sous le nom de *borax concentré* et contient parfois un excès d'acide borique. On lui fait subir l'opération du *raffinage*, comprenant : 1° une dissolution avec addition d'un peu de carbonate de soude et concentration jusqu'à 20° de l'aréomètre Baumé; 2° une décantation de la liqueur suivie d'une cristallisation extrêmement lente pour borax raffiné. Les liqueurs mères des deux opérations de concentration et de raffinage servent à la dissolution du borax brut, jusqu'à ce que la proportion de sels étrangers qu'elles renferment devienne trop forte. On les conduit alors dans un grand bassin, où, sous l'action de la chaleur solaire, elles se concentrent et laissent peu à peu déposer leurs sels.

L'importance des usines de raffinage ainsi constituées est assez variable. Celle qu'on a installée près du gîte de San-Bernardino de Californie comprend : sept cuves de dissolution de 32 mètres cubes chacune, trente cristallisoirs cylindriques pour borax concentré, neuf cristallisoirs carrés pour le borax raffiné, et enfin un grand bassin de 45 mètres de capacité pour l'épuisement des eaux mères.

L'eau est fournie par quatorze puits artésiens et l'on emploie, comme combustible, les broussailles qui poussent en abondance dans le marais. Le personnel comprend cinquante hommes et l'on utilise trente-cinq animaux pour les divers transports.

Les cuves de dissolution étant chauffées à la vapeur, l'installation comprend, en outre, les grands générateurs nécessaires à la production de cette dernière.

Le borax ainsi obtenu, après concentration et raffinage, est de qualité diverse, suivant les gîtes d'où il provient.

En Californie, et en particulier dans le comté de San-Bernar-

dino, où le borax cru est assez pur, le borax raffiné se présente en cristaux d'une grande pureté; mais dans l'État de Nevada, la présence des matières organiques altère la pureté du borax raffiné, qui se présente à l'état de cristaux laiteux opaques. Divers procédés ont été proposés, en vue d'obvier à cet inconvénient, et essayés sans grand succès. Celui qui paraît avoir le mieux réussi consiste en une ébullition prolongée de la dissolution de borax cru, suivie d'un long repos de la liqueur maintenue toujours à une température élevée. A New-York, les usines qui raffinent le borax vantent le procédé suivant : dissolution du borax dans une cuve de 14 mètres cubes de capacité, ébullition de la liqueur avec agitation mécanique des matières en suspension, puis addition de 1.500 à 1.800 grammes de glu qui entraîne en descendant toutes les impuretés.

B. — Utilisation du borate de chaux.

La grande abondance avec laquelle l'*Ulexite* se présente dans les gîtes de borax de l'État de Nevada a naturellement porté les exploitants à faire des recherches sur l'utilisation de ce produit important de leurs exploitations.

Les premiers essais ont porté sur la transformation directe de l'*Ulexite* en borax, en se servant du carbonate de soude que l'on rencontre fréquemment dans les mêmes dépôts et en se fondant sur la double décomposition qui se produit lorsque l'on met le borate sodico-calciqne en présence d'une dissolution de carbonate de soude. Les expériences ont montré qu'on perdait, par ce procédé, 38 p. 100 de l'acide borique contenu; aussi l'attention abandonnée de bonne heure pour le remplacer par les procédés qui donnent directement l'acide borique. Ces procédés peuvent être classés de la façon suivante :

a. Procédé anglais. — Il consiste à décomposer le borate sodico-calciqne par l'acide chlorhydrique. La dissolution étendue d'eau et décantée laisse déposer par refroidissement l'acide borique cristallisé.

b. Procédé Formhals. — On fait passer un courant d'acide sulfureux dans de l'eau bouillante tenant en suspension le borate cru; après décomposition complète de celui-ci, on laisse reposer, puis on décante la liqueur claire : l'acide cristallise par refroidissement.

c. Procédé Robertson. — Il consiste à faire passer dans la liqueur tenant en suspension le borate un mélange de vapeurs d'acide sulfureux et d'acide azotique qui, en présence de l'eau, donnent de l'acide sulfurique dont l'action est plus énergique que celle de l'acide sulfureux.

d. Procédé Gutschow. — Il est fondé sur la décomposition des borates par l'acide sulfurique et sur la volatilisation et l'entraînement de l'acide borique par la vapeur d'eau surchauffée.

L'opération se fait en deux temps :

1° Attaque des borates par l'acide sulfurique et dessiccation à l'air du mélange ainsi obtenu ;

2° Introduction de la masse desséchée dans des cylindres en fonte chauffés au rouge et dans lesquels on fait passer un courant de vapeur d'eau. La vapeur entraîne l'acide borique qui va se condenser dans des chambres de plomb.

Nous terminerons ce résumé par une statistique sommaire de la production totale de borax raffiné extrait des gîtes de borax des deux groupes que nous venons de décrire.

Années.	Production.
1873.	1.000.000 kilogr.
1874.	2.000.000
1875.	2.716.829
1876.	2.590.405
1877.	1.863.640
1878.	1.401.400
1879.	792.480
1880.	1.930.274
1881.	2.022.702
1882.	2.118.145

(Extrait par M. EDMOND FUCHS, ingénieur en chef des mines, avec la collaboration de M. F. ROBELLAZ, ingénieur civil des mines, des publications suivantes : California State mining Bureau : Third annual report of the State mineralogist, 1882-83. — Mines de borax de la Californie, par M. L. DURANT : Rapport de M. TROOST : Bull. de la Société d'encouragement, 1876.)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME HUITIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

	Pages
Étude sur le terrain glaciaire des Pyrénées-Orientales; par M. <i>Wickersheimer</i>	85
Étude sur les eaux minérales de Châtel-Guyon; par M. <i>Caméré</i>	300

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Mémoire sur la méthode de congélation de M. <i>Poetsch</i> pour le fonçage des puits de mines en terrains aquifères; par M. <i>F. Lebreton</i>	111
Commission d'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou dans les houillères. — Analyse synoptique des rapports officiels sur les accidents de grisou en France de 1817 à 1881, dressée au nom de la Commission; par MM. <i>Jules Petitdidier</i> et <i>Charles Lallemand</i> . (Cinquième fascicule).	195
Analyse des rapports officiels sur les accidents de grisou survenus en France pendant les années 1882 et 1883; par M. <i>Janet</i>	433
Application de la méthode rationnelle aux études dynamométriques : appareils et procédés d'expérience, résultats obtenus dans l'étude de la résistance des trains; par M. <i>Desdoutis</i>	481
Commission prussienne du grisou. Expériences sur les explosions de poussières de houille; traduction, par extraits, par M. <i>L. Janet</i>	600
Note sur un accident survenu le 7 juin 1885 à la fosse n° 1 des mines de Nœux; par M. <i>Soubeiran</i>	620

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

Théorie cellulaire des propriétés de l'acier; par MM. <i>Osmond</i> et <i>Werth</i>	6
---	---

OBJETS DIVERS.

Méthode pour déterminer les dimensions qu'il convient de donner aux sections successives des conduites d'air ou de gaz dans lesquelles la température passe par des valeurs différentes; par M. <i>de Langlade</i>	172
--	-----

	Pages
Notice nécrologique sur M. Jutier, inspecteur général des mines; par M. <i>Tournaire</i>	177
Note sur l'explosion d'un piston creux dans les ateliers du dépôt de machines de la compagnie d'Orléans à Montluçon (Allier).	187
Étude sur les institutions de prévoyance pour les ouvriers mineurs en Prusse; par M. <i>Ichon</i>	323
Bulletin des accidents arrivés dans l'emploi des appareils à vapeur pendant l'année 1884.	466
Note sur l'explosion d'une chaudière à vapeur à Roubaix (Nord); par M. <i>Olry</i>	476
Rapport sur l'explosion d'une chaudière à vapeur dans la brasserie Phocéenne, à Marseille	628

BULLETIN.

Actes de courage et de dévouement : accidents arrivés dans les mines et les carrières.	638
Statistique de l'industrie minérale de la Belgique pour l'année 1884.	642
Note sur les gîtes de borax de la Californie et de l'État de Nevada.	645

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME HUITIÈME.

- Pl. I. — Études sur la structure de l'acier.
 Pl. II. — Carte géologique d'une partie du département des Pyrénées-Orientales.
 Pl. III. — Méthode de congélation de M. Poetsch pour le fonçage des puits de mines.
 Pl. IV et V. — Eaux minérales de Châtel-Guyon.
 Pl. VI et VII. — Application de la méthode rationnelle aux études dynamométriques.
 Pl. VIII, *fig.* 1 à 4. — Expériences de la Commission prussienne du grisou sur les explosions de poussières de houille.
 Pl. VIII, *fig.* 5 et 6. — Accident survenu à la fosse n° 1 des mines de Nœux.
 Pl. IX. — Explosion d'une chaudière à vapeur dans la brasserie Phocéenne, à Marseille.

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

Fi

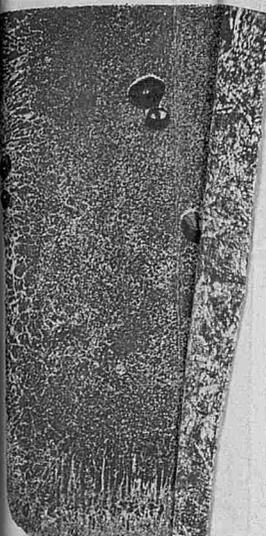


Fig. 4

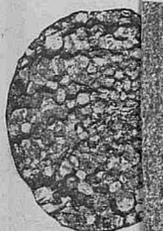


Fig.



Fig. 1

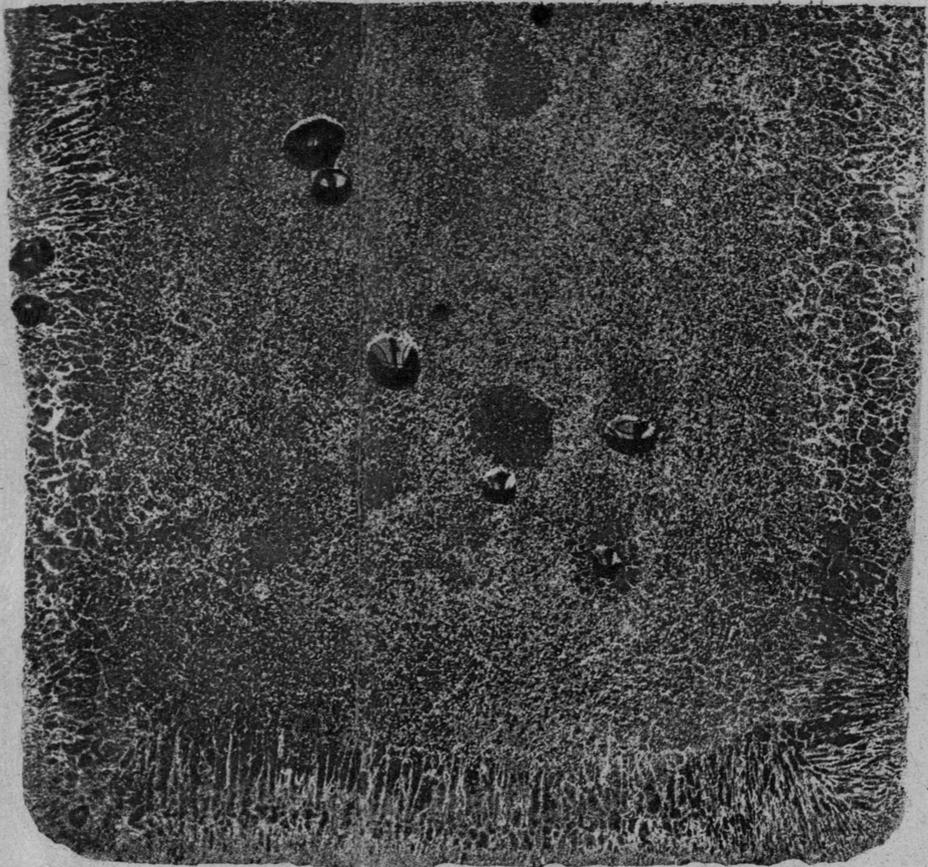


Fig. 2

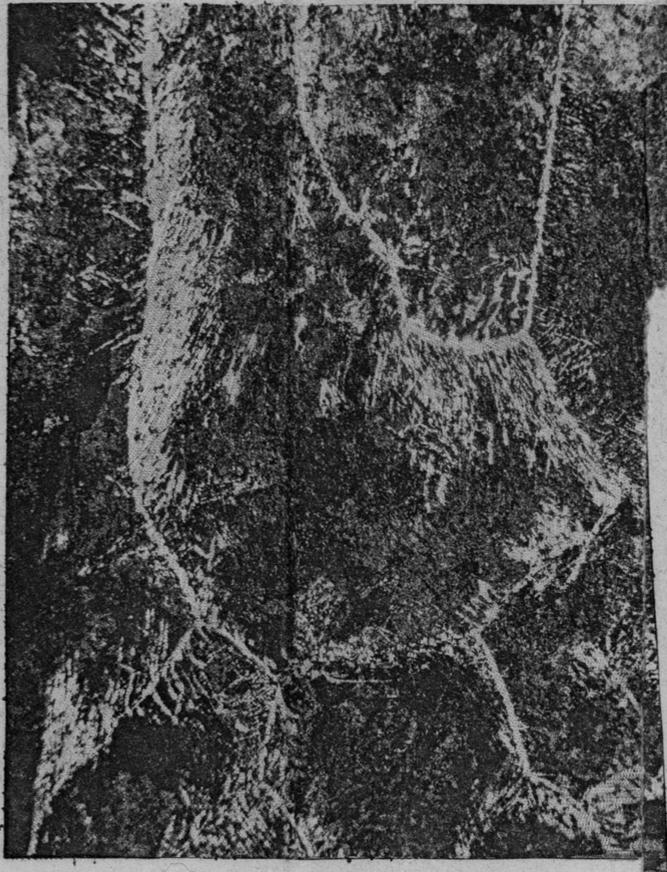


Fig. 3

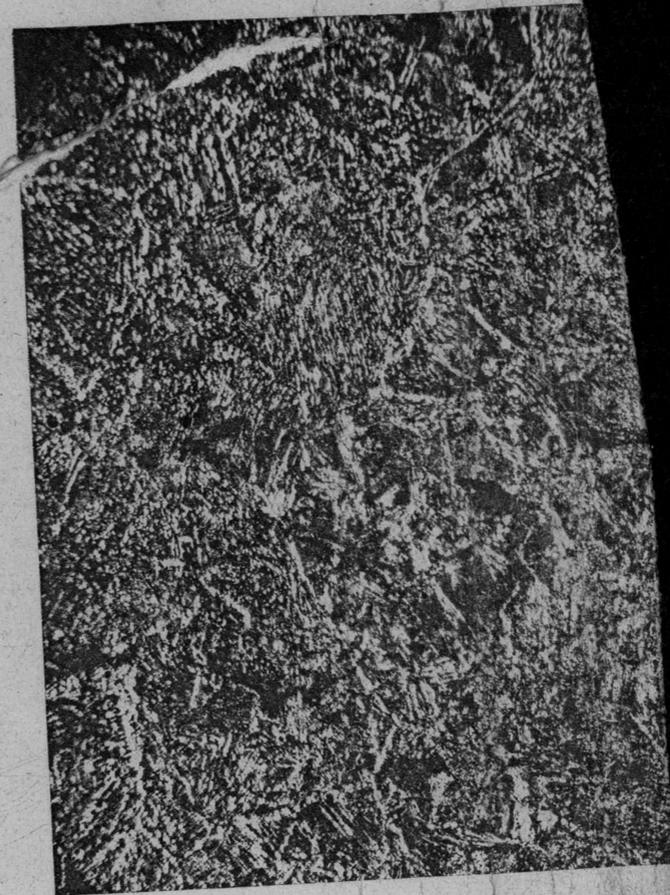


Fig. 4

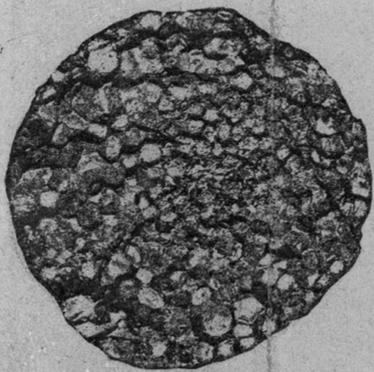


Fig. 5

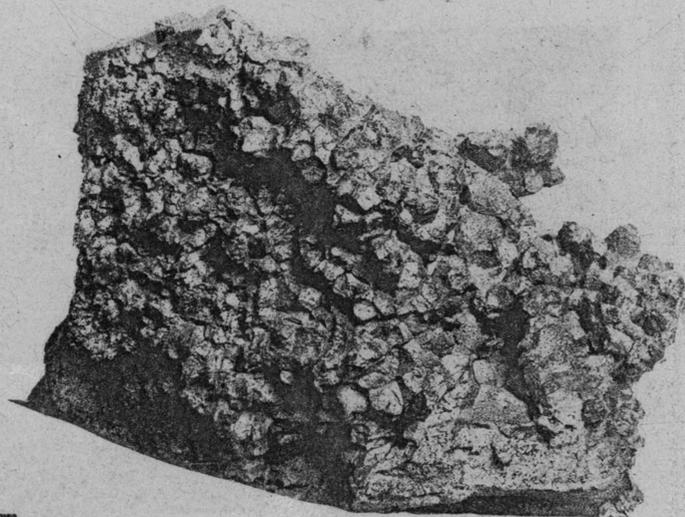


Fig. 6

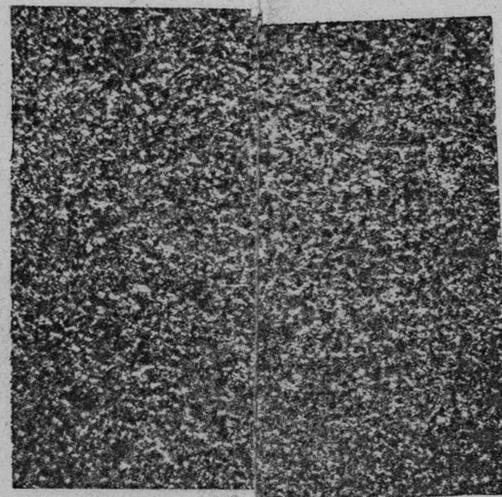


Fig. 7



Fig. 8

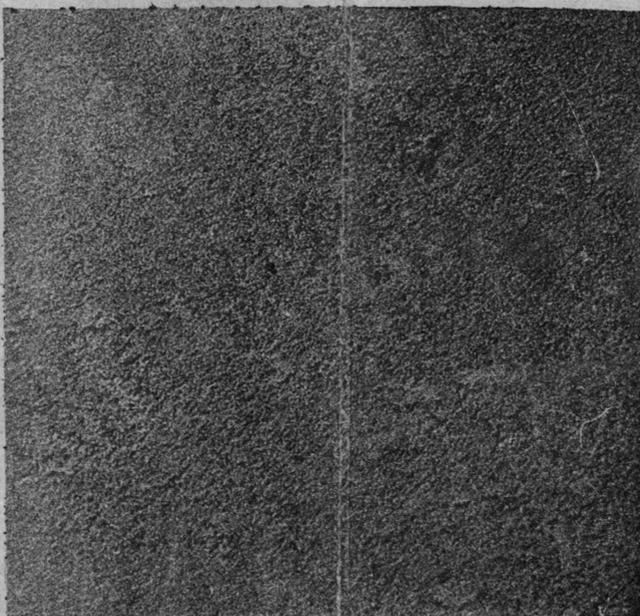


Fig. 9

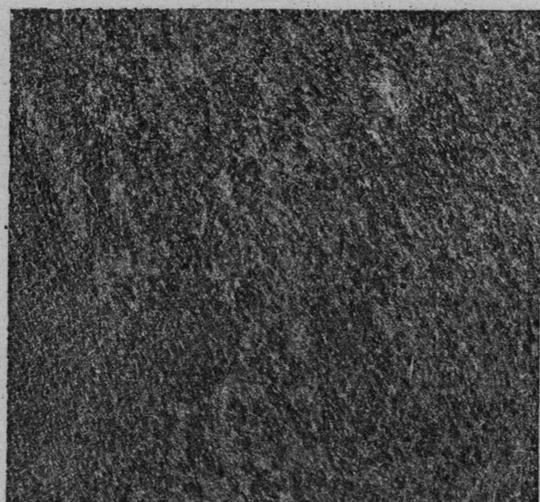
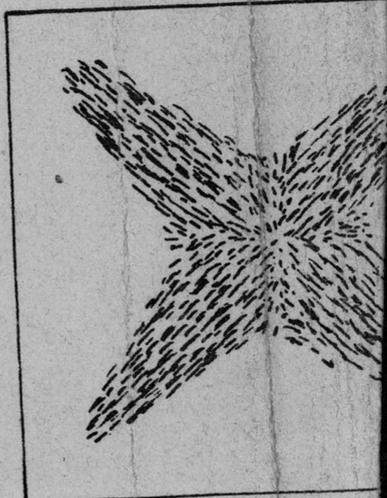


Fig. 10



Fig. 11





PROCÉDÉ DE CONGÉLATION DE M. POETSCH

pour le fonçage des puits de mines

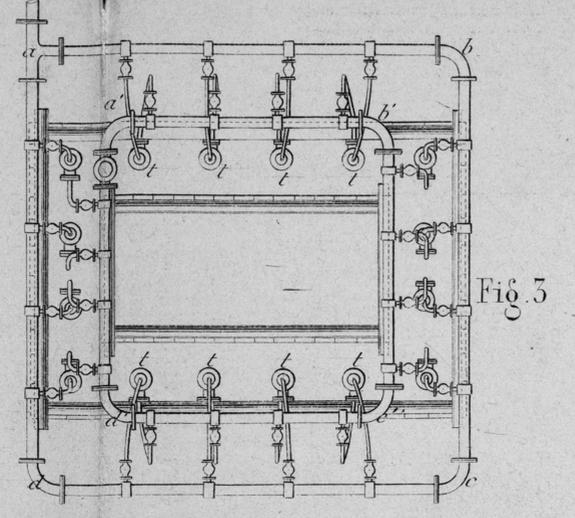
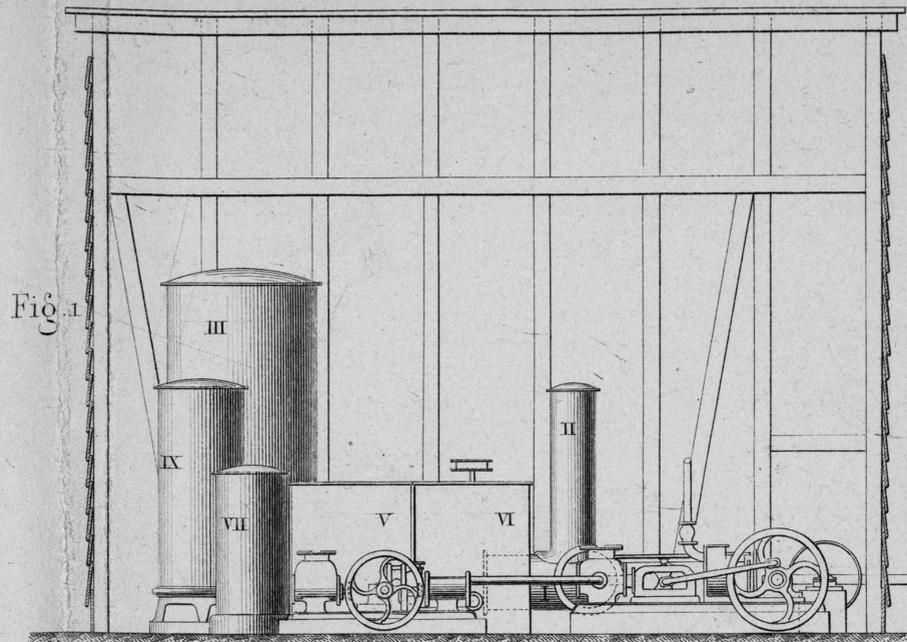


Fig. 1

Fig. 3

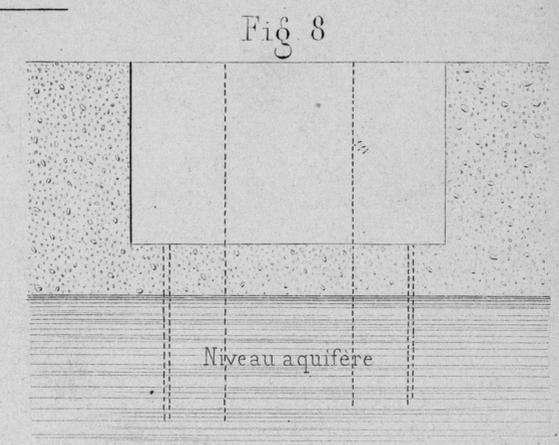
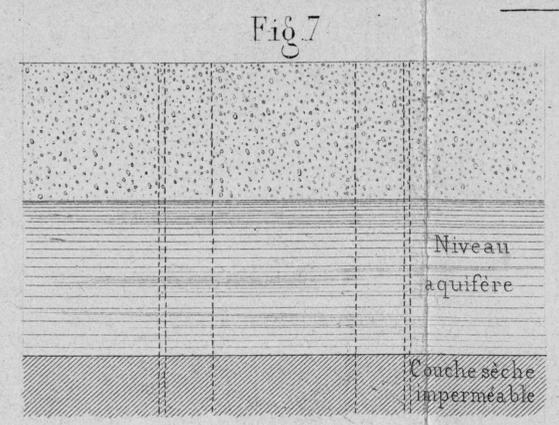


Fig. 7

Fig. 8

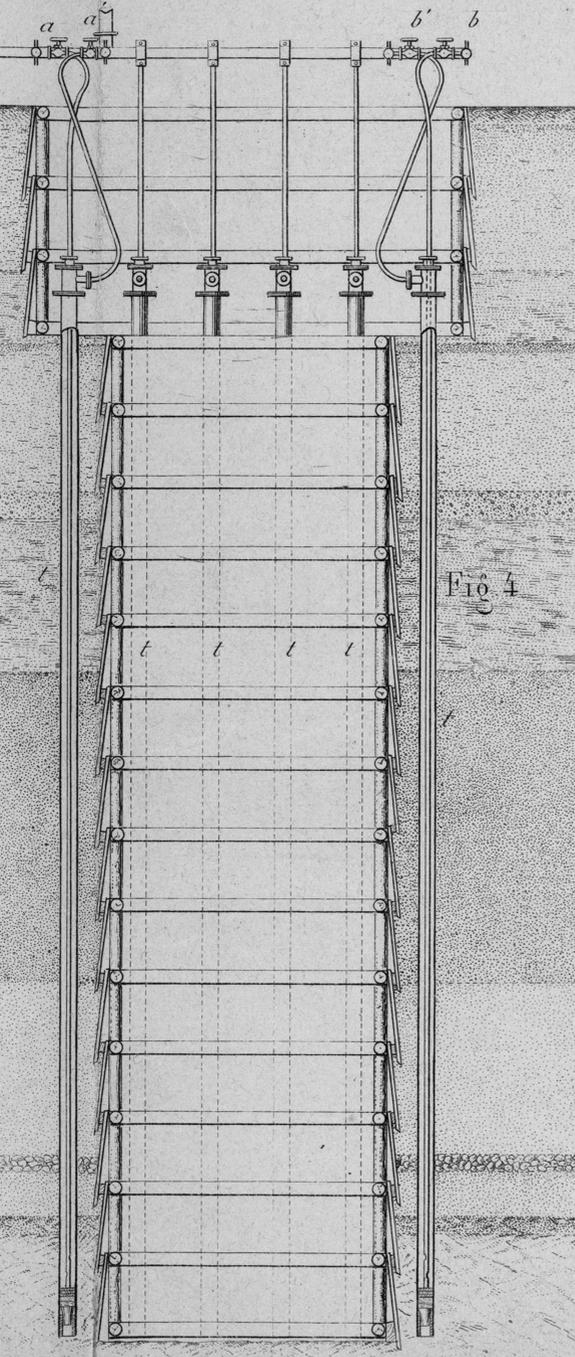
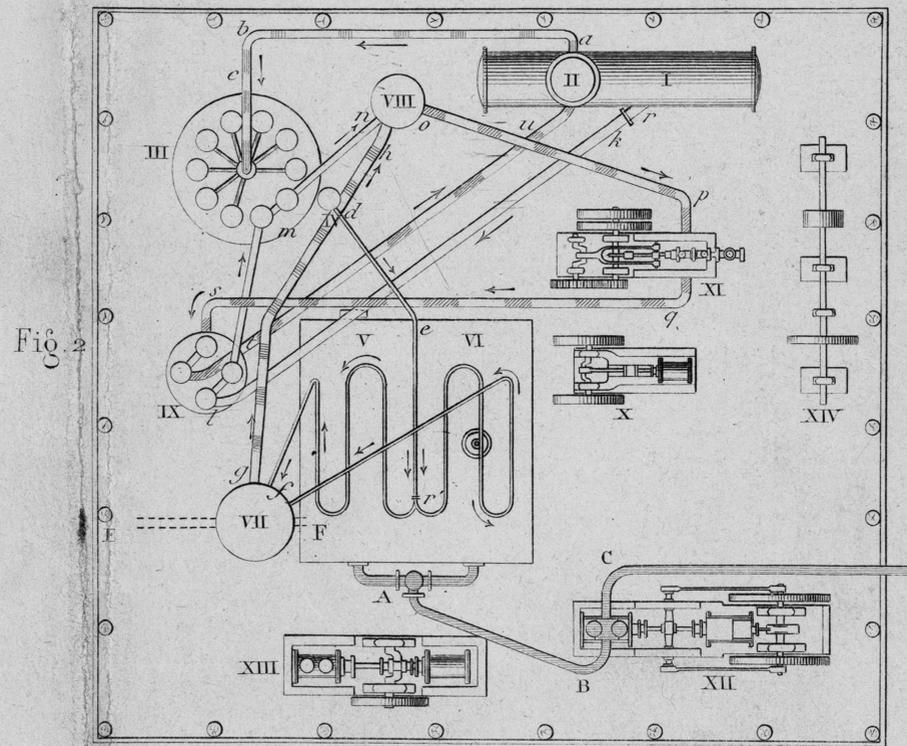


Fig. 9

Fig. 10

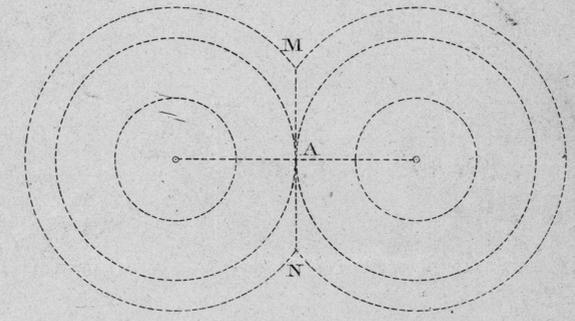
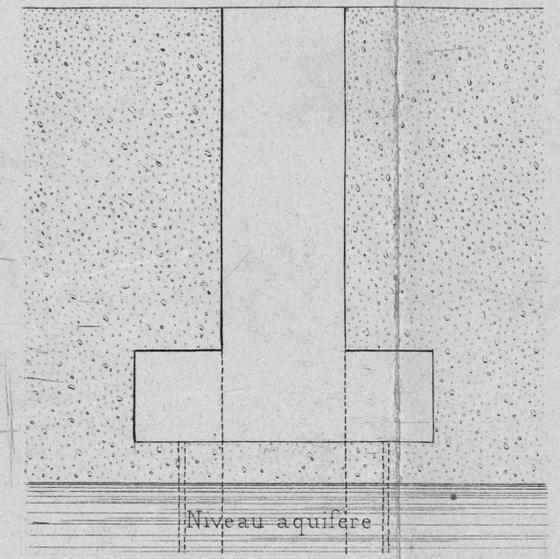


Fig. 2

Fig. 4

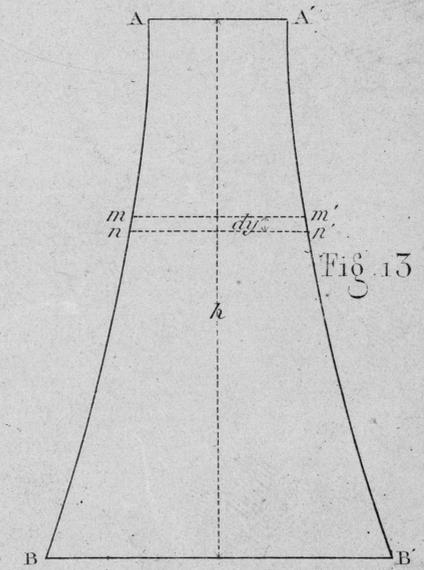
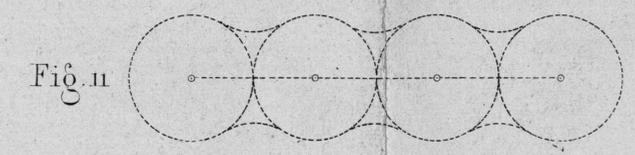
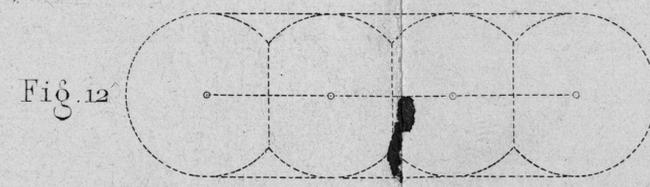


Fig. 11

Fig. 13



Légende de la Fig. 2

	Gaz ammoniac		Solution ammoniacale riche
	Ammoniaque liquide		Solution saline allant au puits
	Solution ammoniacale pauvre		Solution saline revenant du puits

Fig. 5
Pièce de tête

Fig. 6
Pièce de bout

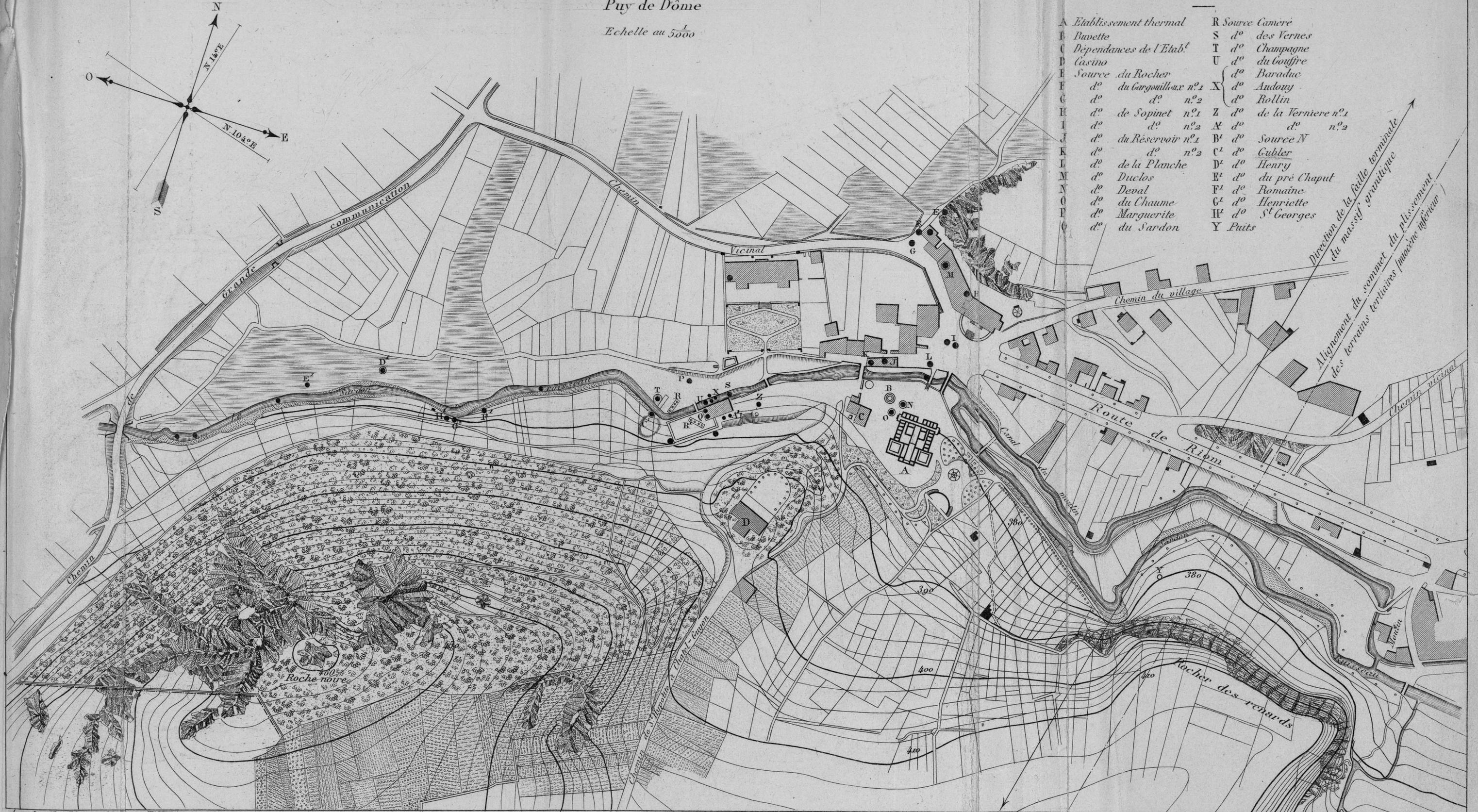
PLAN GÉNÉRAL DES SOURCES DE CHATEL-GUYON

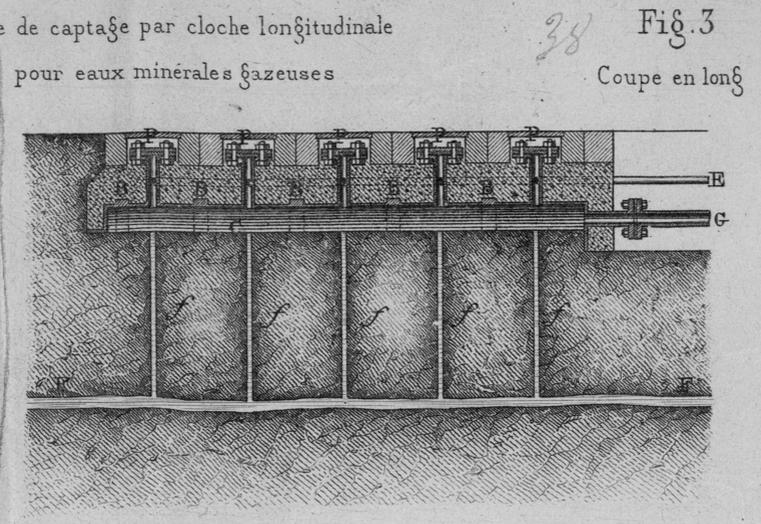
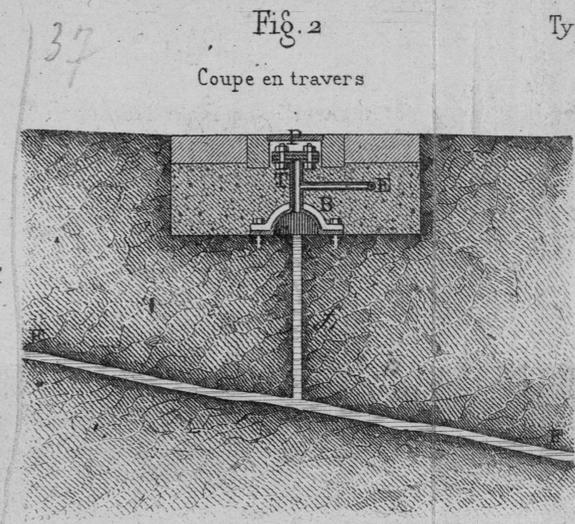
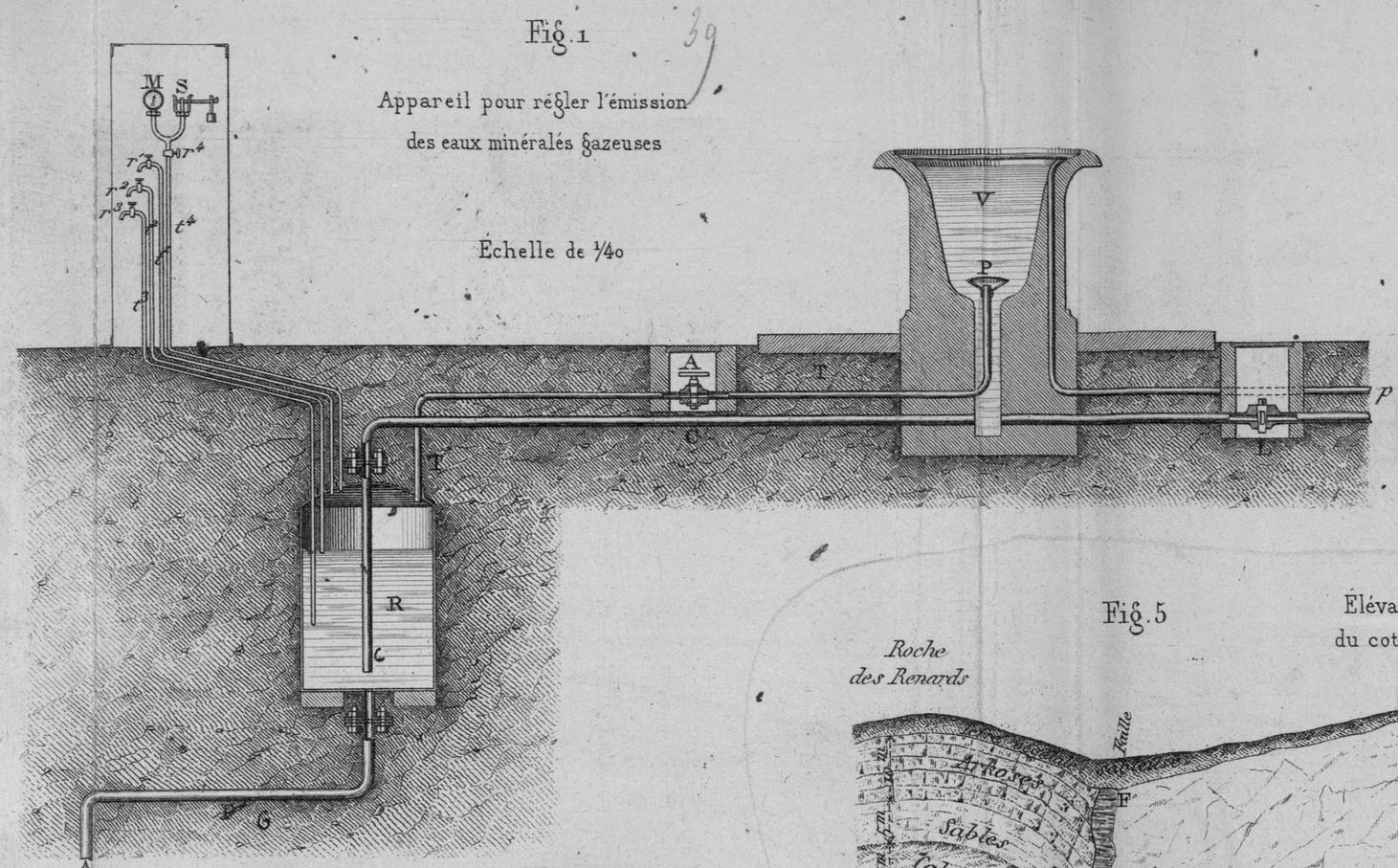
Puy de Dôme

Echelle au 1/5000

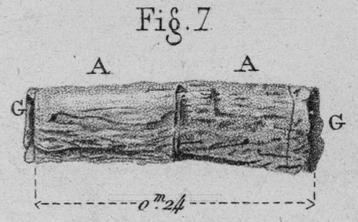
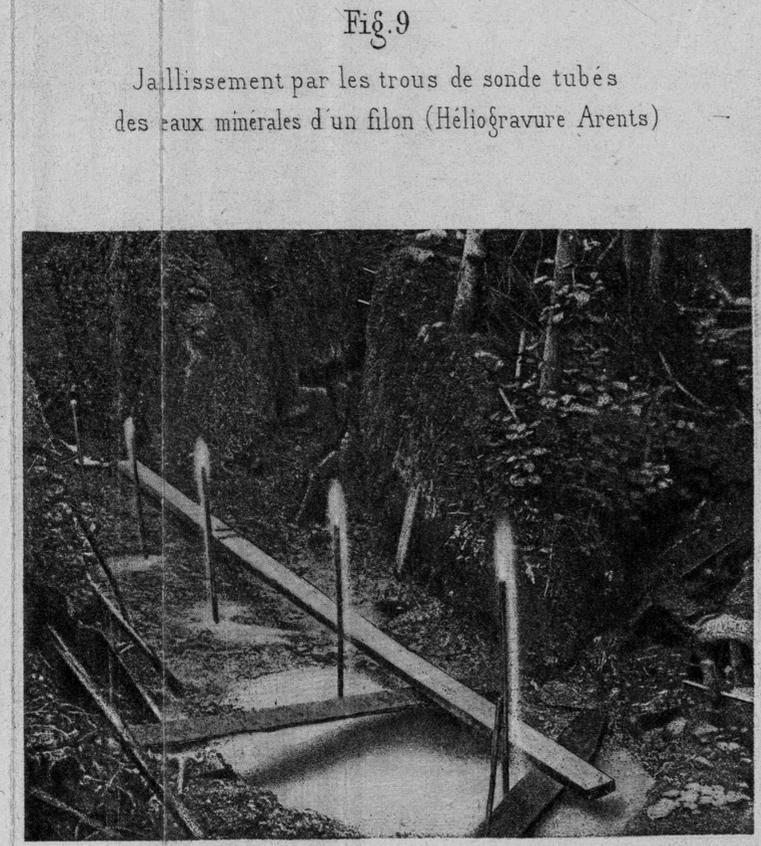
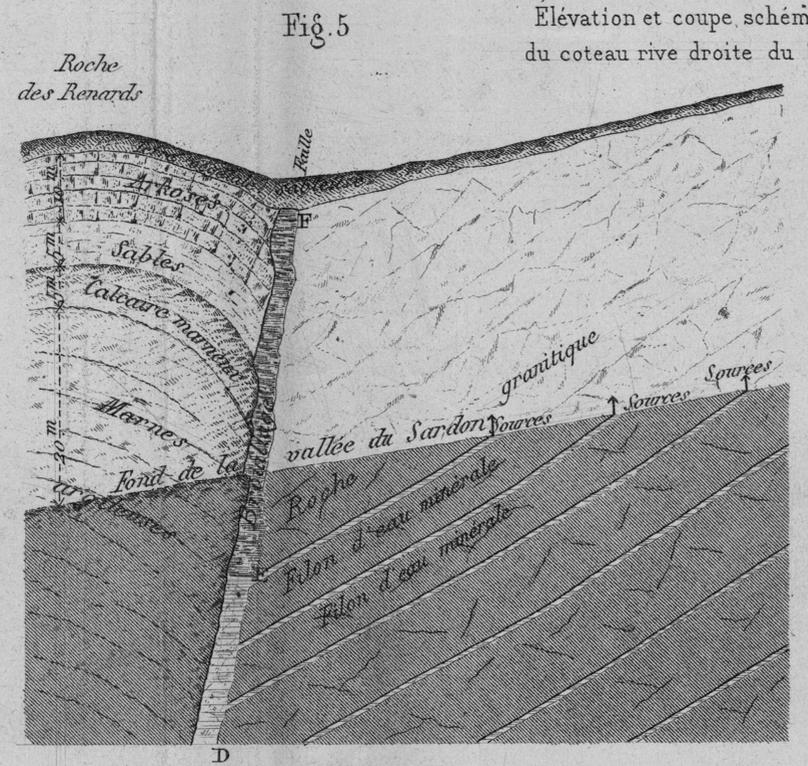
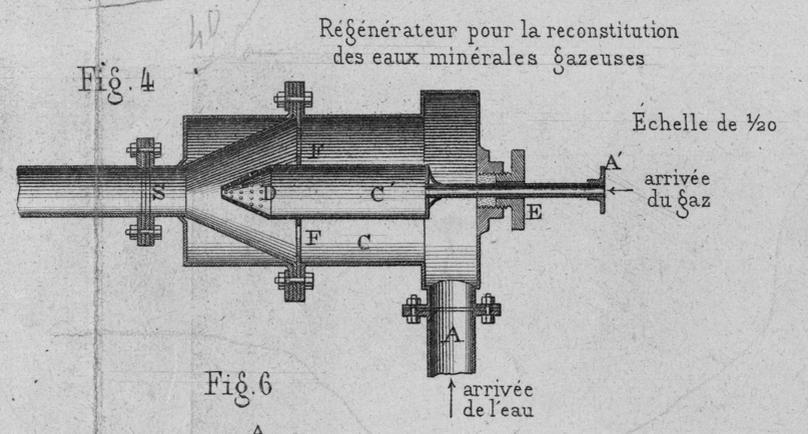
LÉGENDE

- | | | | |
|---|------------------------------------|----|-----------------------|
| A | Établissement thermal | R | Source Caméré |
| B | Buvette | S | d° des Vernes |
| C | Dépendances de l'Étab ^t | T | d° Champagne |
| D | Casino | U | d° du Gouffre |
| E | Source du Rocher | X | d° Baraduc |
| F | d° du Gargonilleux n°1 | Y | d° Andouy |
| G | d° d° n°2 | Z | d° Rollin |
| H | d° de Sopinet n°1 | AA | d° de la Vernière n°1 |
| I | d° d° n°2 | BB | d° d° n°2 |
| J | d° du Réservoir n°1 | CC | d° Source N |
| K | d° d° n°2 | DD | d° Cubler |
| L | d° de la Planche | EE | d° Henry |
| M | d° Duclos | FF | d° du pré Chaput |
| N | d° Deval | GG | d° Romaine |
| O | d° du Chaume | HH | d° Henriette |
| P | d° Marguerite | II | d° St Georges |
| Q | d° du Sardon | YY | Puits |

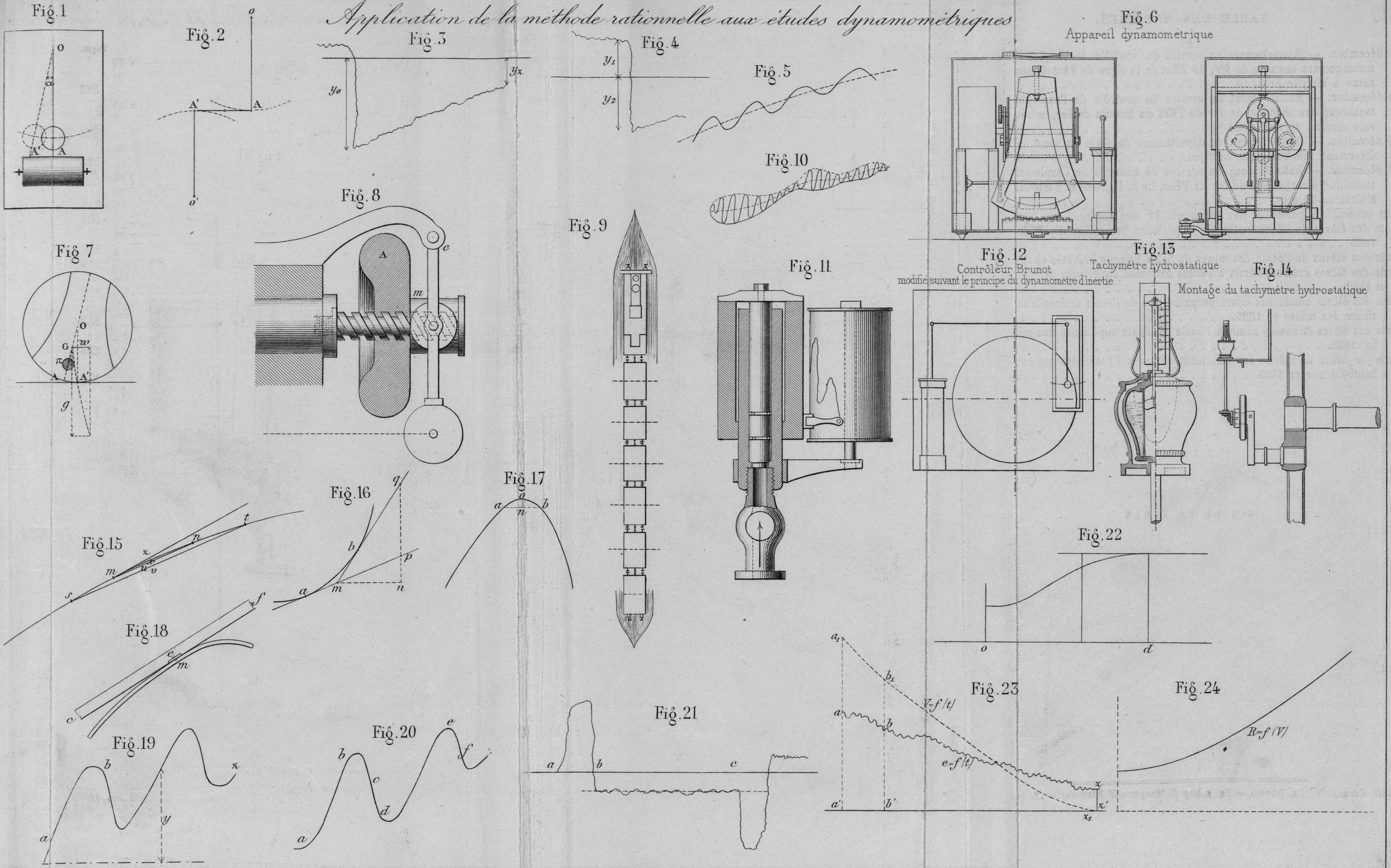


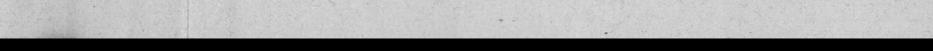
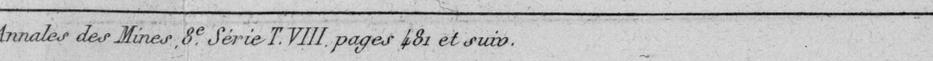
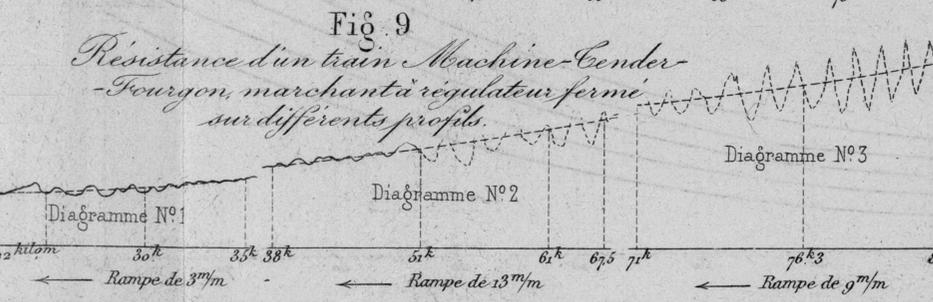
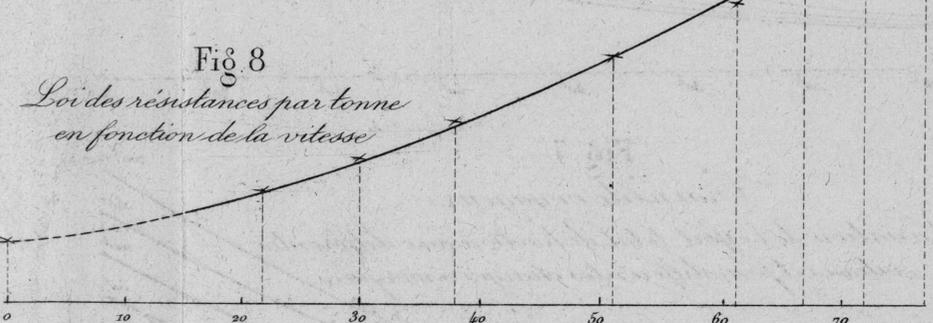
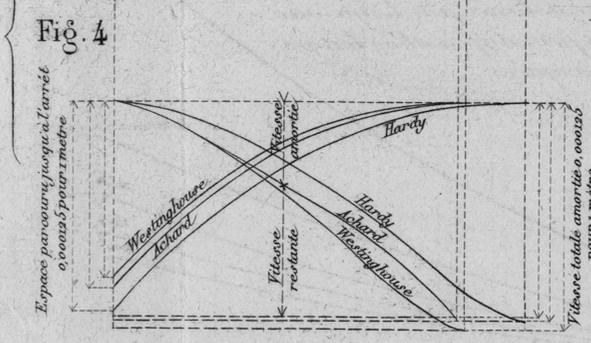
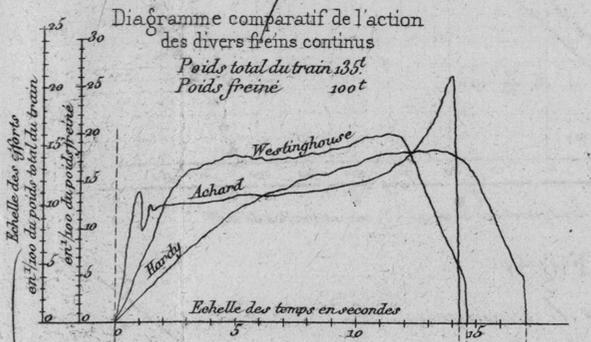
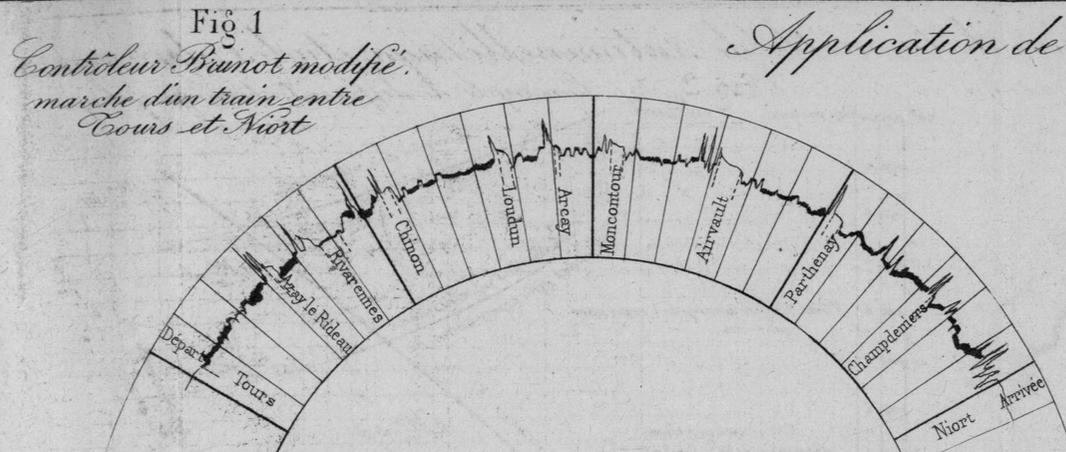


Echelle de 1/100

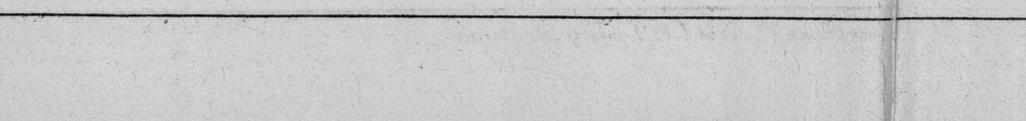
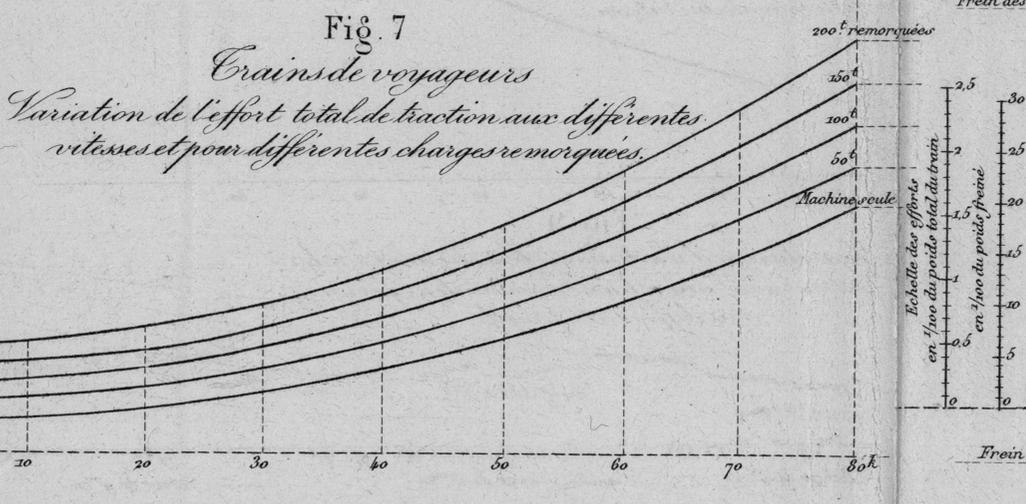
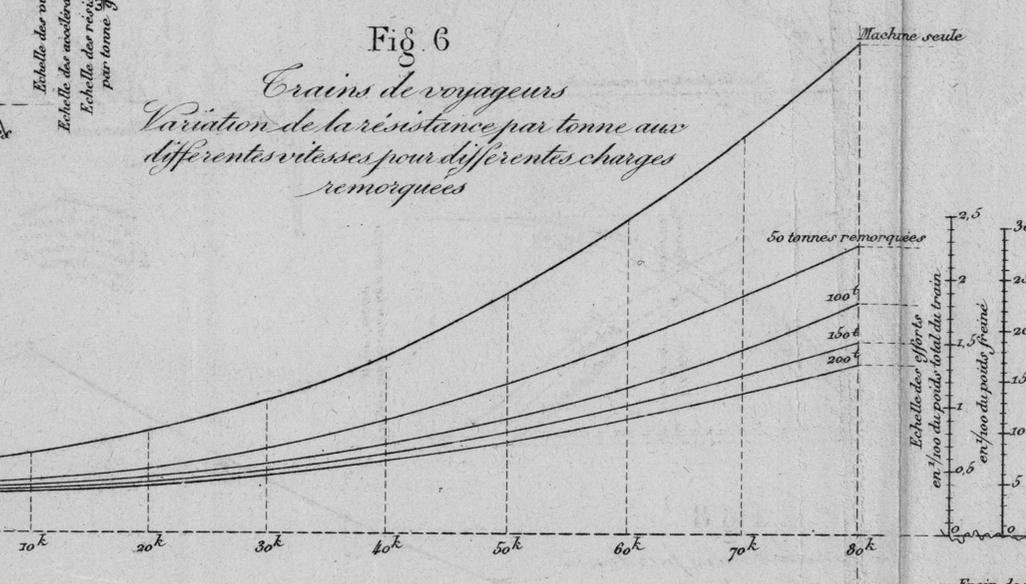
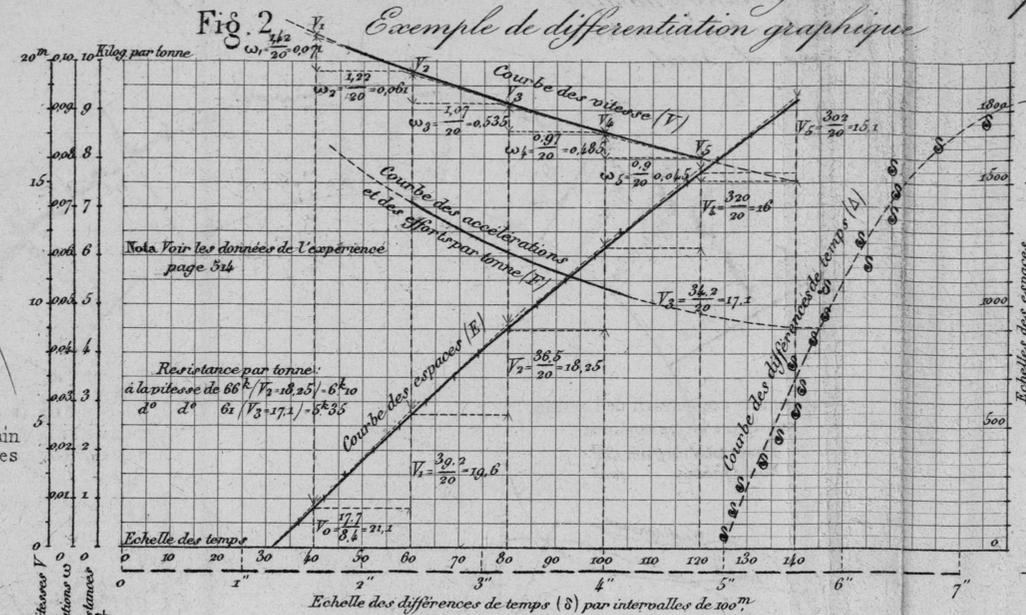


Application de la méthode rationnelle aux études dynamométriques





Application de la méthode rationnelle aux études dynamométriques



Expériences de la Commission Prussienne du Grisou.

Galerie d'expérience.
Fig. 1 Coupe longitudinale

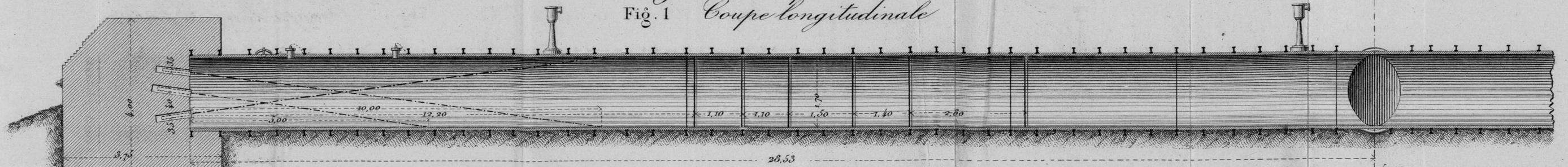


Fig. 2 Elevation longitudinale

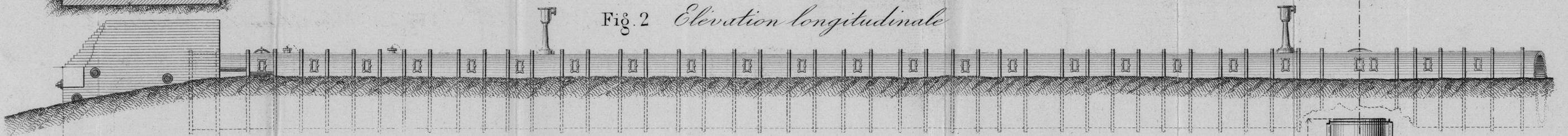


Fig. 4 Coupe transversale

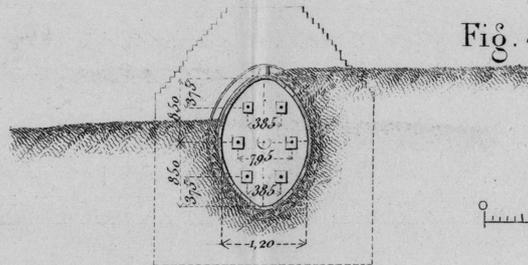
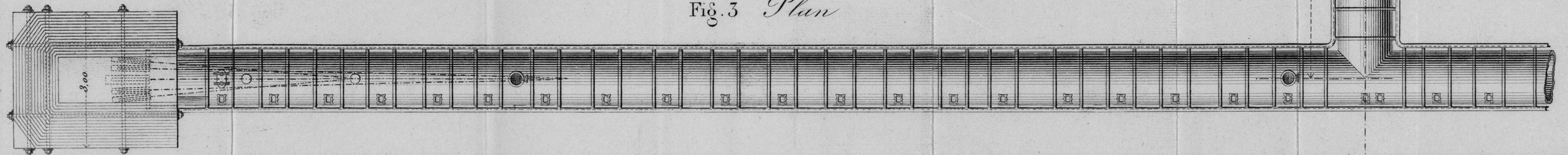


Fig. 3 Plan



Echelle des Fig. 1 à 4 de 0,0075 pour 1^m



Fig. 5 Projection verticale du dressant de Saint Constant

Accident survenu a la fosse N°1 des Mines de Nœux

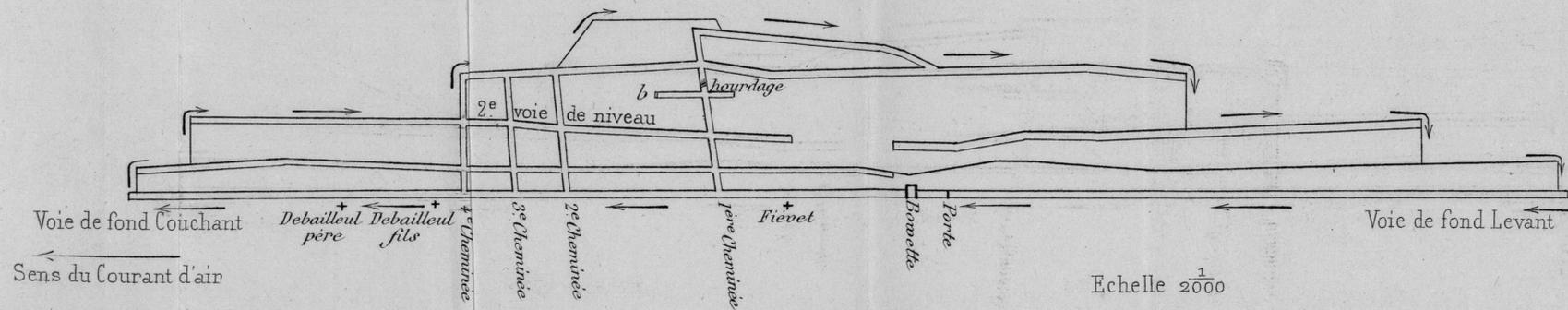
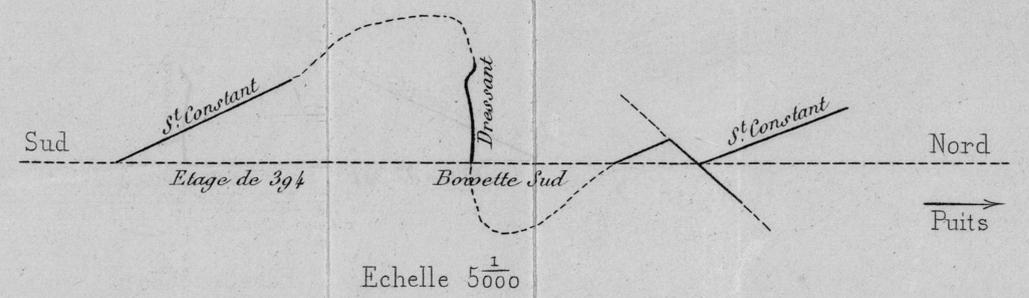


Fig. 6 Coupe verticale Nord. Sud



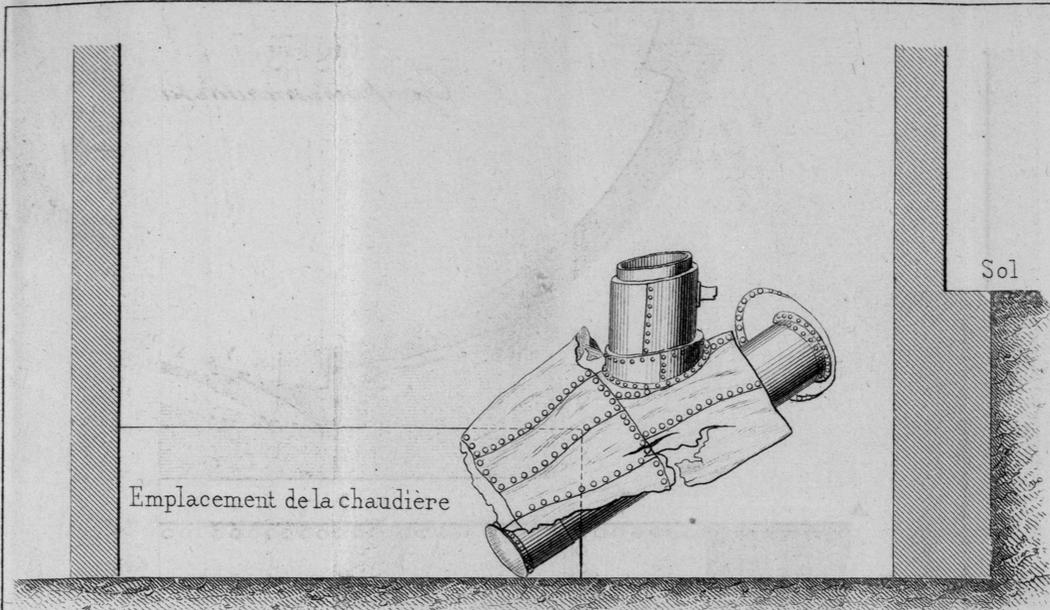


Fig. 2 Coupe MN

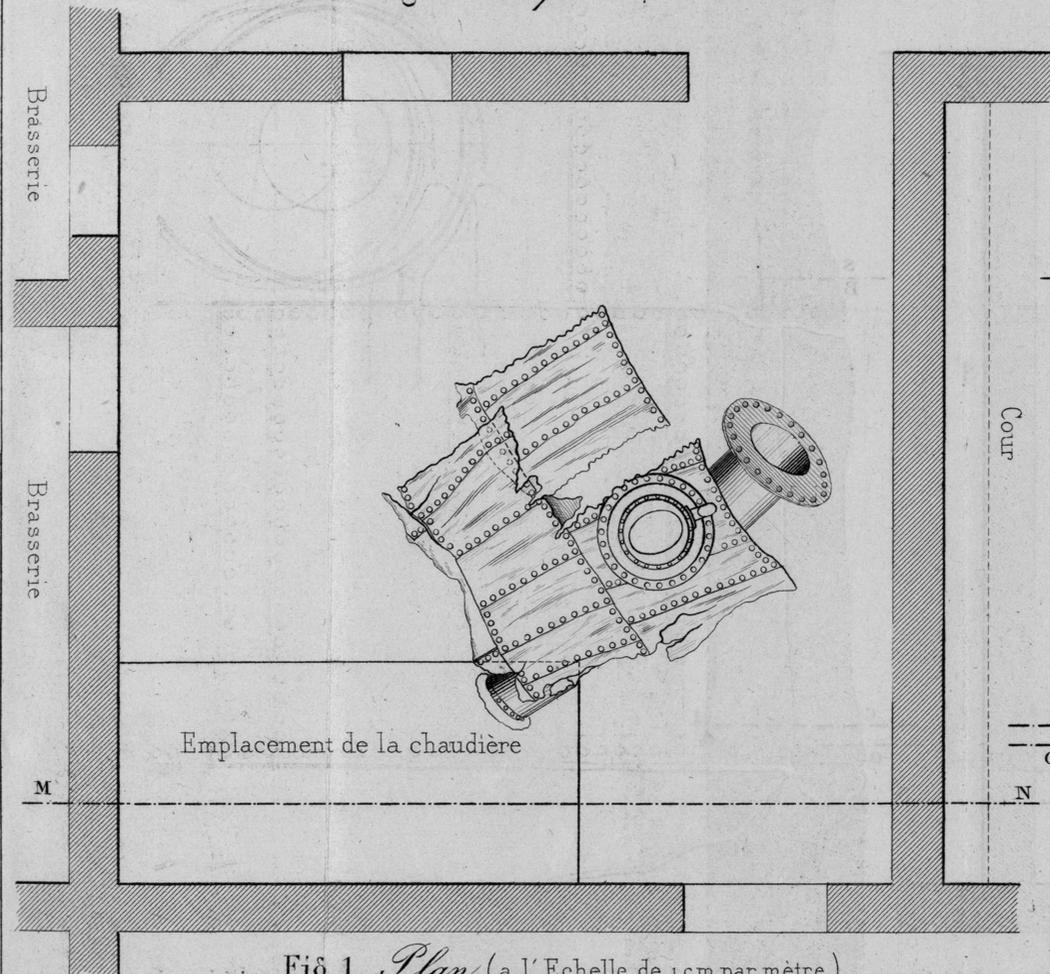


Fig. 1 Plan (a l'Echelle de 1 cm par mètre)

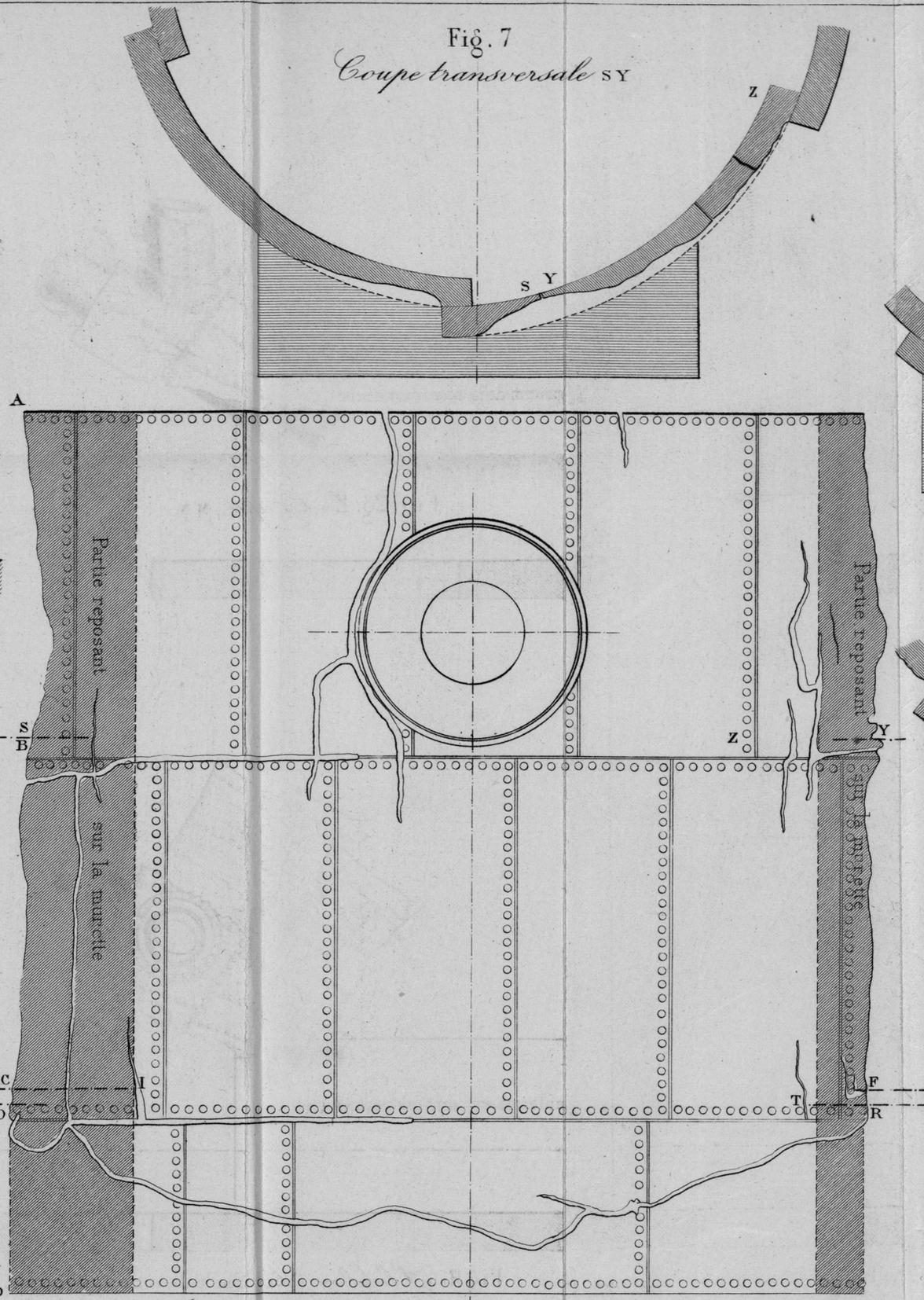


Fig. 5 Développement de l'enveloppe extérieure (25^m/m par^m)

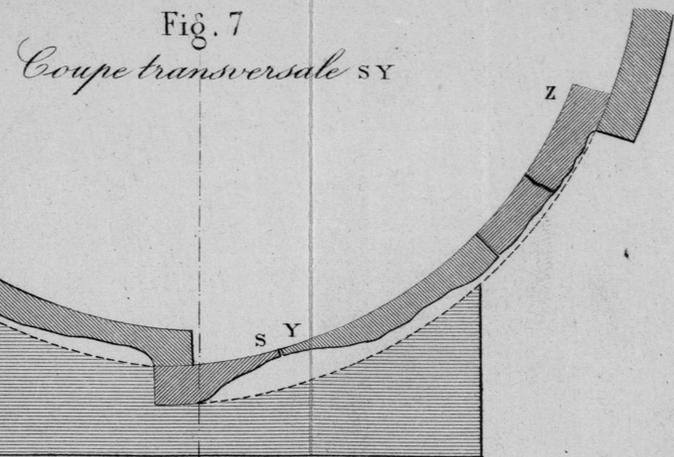


Fig. 7 Coupe transversale sY

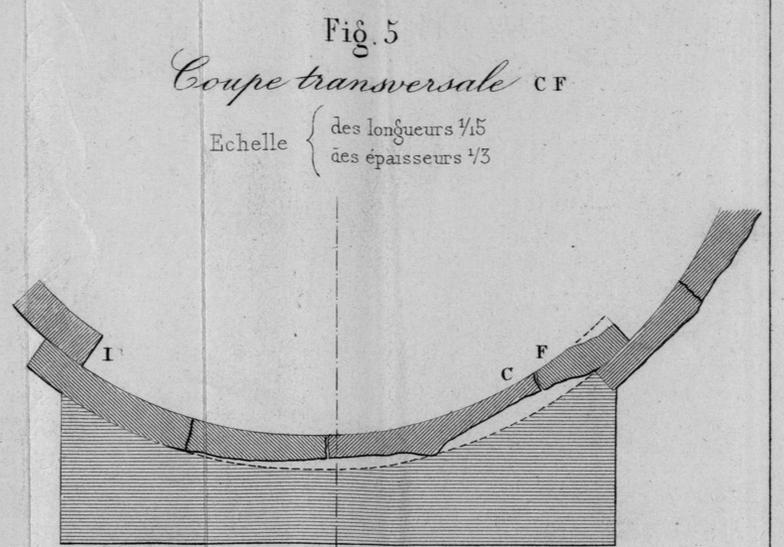


Fig. 5 Coupe transversale cF
Echelle { des longueurs 1/15
des épaisseurs 1/3

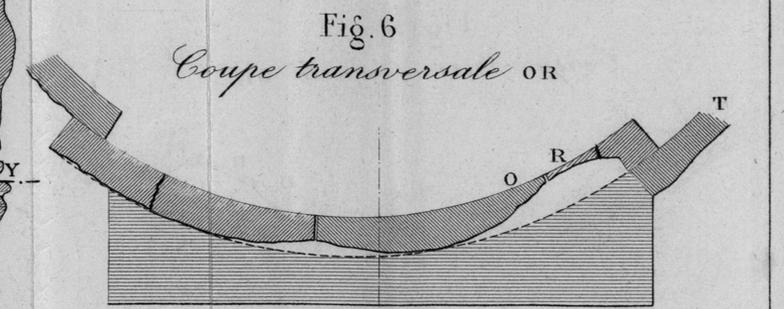


Fig. 6 Coupe transversale oR

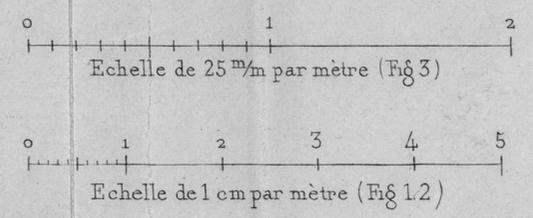


Fig. 4 Coupe longitudinale ABCD { Echelle des longueurs 1/15
Echelle des épaisseurs 1/3