ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

MM.

ÉLIE DE BEAUMONT, sénateur, insp. général, membre de l'Acad. des Sciences, professeur de géologie au Collége de France et à l'École des mines, *président*.

DE BOUREUILLE, conseiller d'État, inspecteur général, secrétaire général du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

THIRRIA, inspecteur général.

COMBES, inspecteur général, membre de l'Académie des Sciences, directeur de l'École des mines.

LEVALLOIS, inspecteur général.

LORIEUX, inspecteur général.

DE BILLY, inspecteur général.

BLAVIER, inspecteur général.

FOURNEL, inspecteur général.

DE SÉNARMONT, ingénieur en chef, membre de l'Académie des Sciences, professeur de minéralogie.

GRUNER, ing. en chef, professeur de métallurgie.

PIÉRARD, ing. en chef, secrétaire du conseil général.

DE VILLENEUVE, ingén. en chef, professeur de législation des mines.

CALLON, ingénieur en chef, professeur d'exploitation.

RIVOT, ing., professeur de docimasie.

DE CHEPPE, ancien chef de la division des mines.

COUCHE, ingénieur en chef, professeur de chemins de fer et de construction, *secrétaire de la commission*.

DELESSE, ingén. ordinaire, maître de conférence à l'École normale, *secrétaire-adjoint*.

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 de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, à M. le secrétaire de la commission des* ANNALES DES MINES, rue du Bac, n° 41, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles formant au moins une feuille d'impression. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Cᵉ, 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

Par les Ingénieurs des Mines,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

CINQUIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XIX.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vᵉʳ DALMONT,

Précédemment Carilian-Gœury et Vᵉʳ Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

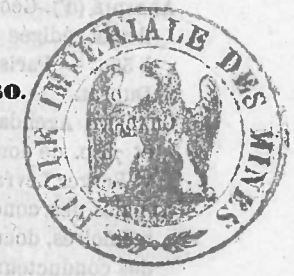
Quai des Augustins, 49.

1861

BIBLIOGRAPHIE.

—

SECOND SEMESTRE DE 1860.



FRANCE.

DELESSE. CARTE GÉOLOGIQUE SOUTERRAINE DE LA VILLE DE PARIS. — Cette carte, exécutée d'après un système nouveau, fait connaître le sous-sol jusqu'aux plus grandes profondeurs qui aient été atteintes, et elle donne non-seulement la nature des terrains, mais encore leur relief.

Comme le terrain de transport forme une sorte de manteau par-dessus le sol de Paris, on a supposé qu'il avait été enlevé, et les teintes de la carte indiquent les divers terrains qui se trouvent immédiatement au-dessous de lui. Si l'on enlève l'un après l'autre les terrains qui composent le sous-sol parisien, on découvrira successivement autant de surfaces correspondant à chacun d'eux. Ces surfaces sont représentées par des courbes horizontales qui ont la couleur du terrain auquel elles appartiennent. La surface inférieure du terrain de transport a été figurée de la même manière.

DELESSE. CARTE HYDROLOGIQUE DE LA VILLE DE PARIS. — Les nappes d'eau souterraines qui existent au-dessous de Paris sont figurées sur cette carte. Leurs formes et leur mode d'écoulement sont indiqués par des courbes horizontales distantes de 1 mètre. Des cotes nombreuses marquent le niveau de l'eau dans les puits ordinaires, ainsi que dans les puits forés. En outre, les eaux provenant des différentes nappes ont été essayées avec l'hydrotimètre de MM. Boutron et Boudet, et le nombre de degrés obtenus qui représente leur dureté est inscrit sur la carte à la place où l'eau a été puisée.

La nature des terrains qui sont baignés par les nappes d'eau souterraines est d'ailleurs indiquée par des teintes spéciales qui correspondent à ces divers terrains, et plusieurs coupes géologiques se trouvent au bas de la carte.

ABBADIE (d'). Géodésie d'une partie de la haute Éthiopie, vérifiée et rédigée par Rodolphe Radau, 2e fascicule. In-4°. P. 217 à 360. — Paris, impr. Remquet, Goupy et compagnie; libr. Duprat.

CHABERT. Agenda agricole, année 1861. In-16. 240 p. d'agenda et 78 p. de données agricoles. — Strasbourg, impr. et libr. ve Berger Levrault et fils; Paris, même maison.

Annales des conducteurs des ponts et chaussées, recueils de mémoires, documents et actes officiels concernant le service des conducteurs des ponts et chaussées. 1re partie. Travaux d'art, mémoires et documents. T. IV, 1860. In-8. 436 p. et 20 pl. — Paris, impr. et libr. P. Dupont.

AVEZAC (d'). Sur un globe terrestre trouvé à Lyon, antérieur à la découverte de l'Amérique. Note lue à la Société de géographie dans la séance publique du 21 décembre 1860. In-8. 29 p. et carte. — Paris, impr. Martinet.

BASSERIE. Question agricole-hippique. In-8. 24 p. — Morlaix, impr. Guilmer; Société d'agriculture de l'arrondissement de Morlaix.

BEUGNIOT. Mémoire sur une locomotive de montagne, système Beugniot, etc.; suivi d'un rapport de M. Lebleu, ingénieur des mines. In-8. 97 p. et 9 tableaux. — Mulhouse, impr. Baret, 1860.

Cours classique de géographie physique et politique à l'usage des lycées et autres établissements d'instruction publique, rédigé conformément au dernier programme officiel de l'université, pour accompagner l'atlas de géographie de M. Babinet. Classe de 3e. Description particulière de l'Europe. In-12. 259 p. — Paris, impr. P. Dupont; libr. Bourdin; L. Hachette et compagnie.

GIRARDIN. Analyse de l'engrais flamand. In-8. 12 p. — Lille, impr. Leleux, 1860.

GRENIER. Recherches sur le Posidonia Caulini (Konig). In-8. 16 p. — Paris, impr. Martinet.

LORY. Note sur la constitution stratigraphique de la haute Maurienne. In-8. 14 p. et pl. — Paris, Martinet.

ULRICH. Manuels-Roret. Nouveau manuel complet du teinturier. 2e partie, contenant de nombreuses recettes à l'usage des

teinturiers sur coton et sur laine, et une série de formules sur les opérations qui s'exécutent sur les fils de coton dans les ateliers de teinture de Rouen, de l'Alsace et de l'Allemagne, sur les tissus de coton dans les ateliers de Mulhouse, et sur les fils et les tissus de laine chez les teinturiers de Paris. In-18. 252 p. — Bar-sur-Seine, impr. Saillard; Paris, libr. Roret.

GÉRARDIN. Du sarrasin comme substance alimentaire. In-8. 8 p. — Limoges, impr. Chapoulaud frères, 1860.

LE BLANC. Le mécanicien-constructeur ou atlas et description des organes des machines. Œuvre posthume de Le Blanc. Ouvrage à l'usage des écoles d'arts et métiers et formant le complément du choix de modèles appliqués à l'enseignement du dessin des machines; publié par Mme Le Blanc. La 1re partie revue, corrigée et augmentée par M. Félix Tourneux. La 2e et la 3e partie, par M. L. Chaumont. 1re partie. In-4. 50 p. et 25 pl. — Paris, impr. Raçon et compagnie; libr. Lacroix; L. Chaumont, 33, rue Saint-André-des-Arts.

MOLL et GAYOT. Encyclopédie pratique de l'agriculteur, publiée par F. Didot frères, fils et compagnie. T. IV. Biberon-Charrue. In-8. 476 p., avec figures dans le texte. — Paris, impr. et libr. F. Didot frères, fils et compagnie.

La botanique et la minéralogie. 14 planches in-4° sur carton, avec 342 sujets en couleur, renfermées dans un portefeuille. — Bruxelles, Kiessling et compagnie.

Annales de l'Observatoire impérial de Paris; publiées par U.-J. Le Verrier, directeur de l'Observatoire. Observations. T. XIII. In-4°. VII-482 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

BARDIN. Cours de dessin industriel. 1re partie, géométrie graphique. Choix d'exercices convenant aux écoles primaires supérieures, spécialement destinés aux élèves des classes de dessin industriel d'apprentis et d'adultes, et à ceux des écoles professionnelles, etc. In-fol. 10 p. — Paris, impr. Meyer; libr. Amyot.

BASSET. Guide pratique du fabricant de sucre, contenant l'étude théorique et technique des sucres de toute provenance, la saccharimétrie chimique et optique, la description et l'étude culturale des plantes sacchariferes, les procédés usuels et manufacturiers de l'industrie sucrière et les moyens d'améliorer les diverses parties de la fabrication; avec de nom-

breuses figures intercalées dans le texte. In-8. XVI-848 p. — Paris, impr. Hennuyer; libr. E. Lacroix.

BODIN. Résumé d'agriculture pratique par demandes et réponses, ou Questionnaire agricole pour les écoles primaires rédigé d'après le vœu de la Société d'agriculture de Rennes, 2e *édition*, revue et augmentée. In-18. 176 p. — Coulommiers, impr. Moussin; Paris, libr. Dezobry et Magdeleine.

MASURE. Cours public de chimie organique, 2e année. Notions élémentaires sur l'organisation des plantes et des animaux, et sur les phénomènes chimiques de la vie végétale et de la vie animale. In-8. 148 p. — La Rochelle, impr. Siret.

SEELIGMANN. Essai chimique sur les eaux potables approprié aux eaux de la ville de Lyon. In-8. 41 p.— Lyon, impr. Barret.

BOURGUIGNAT. Malacologie terrestre et fluviale de la Bretagne. In-8. 178 p. et 2 pl. — Paris, imp. veuve Bouchard-Huzard; libr. Savy; J.-B. Baillière.

LEFÈVRE. De la nécessité d'établir une surveillance sur la fabrication des poteries communes vernissées au plomb. In-8. 8 p. — Paris, impr. Martinet.

BABINET. De la télégraphie électrique, ligne de jonction des cinq parties du monde. In-8. 48 p. — Paris, impr. Hennuyer; lib. nouvelle; Franck.

BARRAL. De l'influence exercée par l'atmosphère sur la végétation. Leçon professée à la Société chimique de Paris, le 4 mai 1860. In-8. 48 p. — Paris, impr. Lahure et compagnie.

Blanchissage du linge, étude comparative des divers systèmes. In-8. 25 p. et vignettes. — Paris, impr. Claye.

BOBIERRE. Études chimiques sur l'étamage des vases destinés aux usages alimentaires, etc. In-8. 26 p.— Nantes, impr. Mellinet.

DUMAS. Deux pièces historiques concernant les opinions de Lavoisier au sujet de la formation des êtres organisés, et celles de N. Le Blanc au sujet de la théorie des engrais. In-8. 18 p. — Paris, impr. Lahure et compagnie.

LAURENS et THOMAS. Production de la vapeur. Chaudière tubulaire à foyer amovible. In-8. 14 p. et pl.— Paris, impr. Claye.

LAURENT et CASTHELAZ. Recherches sur les rouges d'aniline ou rouges d'Hofmann. 1860. In-4°. 31 p. — Paris, impr. Malteste et compagnie.

LENGLET. Notice cosmologique, avec planche lithographiée. In-8. 19 p. — Douai, impr. Adam.

LE ROUX. Recherches sur les indices de réfraction des corps qui ne prennent l'état gazeux qu'à des températures élevées. Propositions de chimie, etc. In-4°. 49 p. et une planche. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

MELLEVILLE. Description géologique de la montagne de Laon. In-8. 27 p. — Paris, impr. Martinet.

PELOUZE et FREMY. Traité de chimie générale, analytique, industrielle et agricole; 3e *édition*, entièrement refondue, avec figures dans le texte. Tome IV. Chimie organique. 1re partie. Analyse. Acides. Alcaloïdes. Corps neutres. In-8. 740 p. — Paris, impr. Martinet; libr. V. Masson et fils.

WURTZ. Histoire générale des glycols; leçon professée à la Société, le 2 mars 1860. In-8. 39 p. — Paris, impr. Lahure et compagnie.

HAMERS. Mémoire sur l'emploi de la main-d'œuvre dans l'industrie, traitant spécialement des moyens d'accélérer le travail des ateliers sans augmenter le capital à y employer. In-8. 126 p. — Paris, imp. Lahure et compagnie; l'auteur, 59, avenue de Labourdonnaie; libr. Mallet-Bachelier et les principaux libraires.

Leçons de chimie professées en 1860 par MM. Pasteur, Cahours, Wurtz, Berthelot, Sainte-Claire Deville, Barral et Dumas. In-8. VIII-311 p. — Paris, impr. Lahure et compagnie; libr. Hachette et compagnie.

LOVE. Essai sur l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière, l'électricité, etc. In-8. XIX-296 p. — Neuilly, imp. Guiraudet. Paris, libr. Lacroix; librairie nouvelle; Le Doyen.

PENNETIER. De la réviviscence des animaux dits ressuscitants. (État de la question en 1860. — Nouvelles expériences.) In-8. 80 p. — Rouen, impr. Rivoire et compagnie.

PERRET. Études chimiques sur l'eau minérale de Bourdonneau (Drôme). In-8. 16 p. — Lyon, impr. Vingtrinier, 1860.

PIARRON DE MONDÉSIR. Calcul des ponts métalliques à poutres droites et continues. In-4. VII-74 p., 2 pl. et 2 tabl. — Paris, impr. Thunot et compagnie; libr. Dunod.

REGNAULT. Recherches sur les phénomènes consécutifs à l'amalgamation du zinc, du cadmium et du fer. In-8. 7 p. — Paris, impr. Martinet.

ÉTALLON. Paléontostatique du Jura. Jura graylois. Faune du terrain jurassique moyen. In-8. 33 p. — Lyon, impr. Barret.

PONTÉCOULANT (de). Observations sur le perfectionnement des tables de la lune et sur les deux inégalités à longues périodes que M. Hansen a proposé d'introduire dans le mouvement de cet astre. In-8. 22 p. — Paris, impr. Renou et Maulde.

VUIGNER. Docks-entrepôts de la Villette. Détails pratiques sur les diverses constructions de cet établissement. In-4. VIII-64 p. et atlas grand in-4 de 24 pl. — Paris, impr. Hennuyer; libr. Dunod.

LAMÉ. Leçons sur la théorie analytique de la chaleur. In-8. XXXI-414 p., avec figures dans le texte.— Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

LE GRAS. Renseignements hydrographiques sur les îles Bashee, les îles Formose et Lou-Tchou, la Corée, la mer du Japon (ports d'Hakodaki, Ne-e-Gate, Nangasaki, Simoda et Yédo) et la mer d'Okhotsk; mis en ordre et publiés; 2e *édition*. In-8. VIII-274 p. — Paris, impr. P. Dupont.

MATHIEU. Flore forestière. Description et histoire des végétaux ligneux qui croissent spontanément en France, et des essences importantes de l'Algérie, suivies d'une méthode analytique pour en déterminer les principales espèces pendant l'hiver, et précédées d'un dictionnaire des mots techniques; 2e *édition*, revue et augmentée. In-8. XXXII-453 p. — Nancy, imp. veuve Raybois; libr. Grosjean; Paris, libr. veuve Bouchard-Huzard.

REINÈKE. Description hydrographique des côtes septentrionales de la Russie; 1re partie. Mer Blanche. Traduction du russe par H. de Laplanche. In-8. 350 p. et 10 pl.—Paris, imp. P. Dupont.

ROSSI. Étude sur l'origine du diamant. In-8. 28 p. — Draguignan, impr. Gimbert.

WÖHLER. Nouvelle analyse chimique des aérolithes tombés au cap de Bonne-Espérance. Traduit de l'allemand par A. Rabuteau. In-8. 11 p. — Paris, impr. Noblet.

BRIOT. Leçons nouvelles d'arithmétique; 3e *édition*, revue et augmentée. In-8. 368 p. — Paris, impr. Bonaventure et Ducessois; libr. Dezobry et Magdeleine.

MALEYX. Note sur la résolution numérique des équations. In-8. 47 p. — Paris, impr. Thunot; libr. Hachette.

Catalogue chronologique des cartes, plans, vues de côtes, mémoires, instructions nautiques, etc., qui composent l'hydrographie française. In-8. 198 p. — Paris, impr. P. Dupont; libr. Ledoyen; Bossange.

DALY. L'Architecture privée au dix-neuvième siècle, sous Napoléon III. Nouvelles maisons de Paris et des environs. Plans, élévations, coupes, détails de construction, de décoration et d'aménagement; 1re livraison. In-folio, 4 planches gravées.— Paris, impr. Claye; libr. Morel.

DEBOURGE. Un mot sur les habitations insalubres, sur les dangers que présentent de telles demeures et sur les principaux moyens à mettre en usage pour leur assainissement. In-18. 33 p. — Mirecourt, impr. et libr. Humbert; Paris, comptoir de librairie et d'union, 43, rue Bonaparte.

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. Tome XXXVI. In-4. 379 p. et 59 planches. — Paris, impr. impériale.

Distilleries agricoles du système Kessler, également applicable, avec le même matériel simple, peu coûteux et d'un emploi facile, au traitement de toutes les matières premières, aussi bien des matières sucrées, comme betteraves, carottes, etc., que des substances amylacées, comme la pomme de terre, les grains, etc.; préférable à toutes les autres et paraissant pour la première fois à une exhibition publique. In-8, 16 p. et 5 pl. — Metz, impr. Blanc; libr. Robinet.

ERNOUF. De l'emploi des phosphates minéraux en agriculture. In-8. 40 p. — Paris, impr. Chaix.

FIGUIER. L'année scientifique et industrielle, ou exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de la science à l'industrie et aux arts qui ont attiré l'attention publique en France et à l'étranger, 3e année. Grand in-18. 531 p. carte et pl. — Paris, impr. Lahure; libr. Hachette, 1859.

LAUTH et DEPOULLY. Note sur les rouges d'aniline. In-4. 19 p.— Paris, impr. Raçon.

MARQFOY. Mémoire sur un nouveau système de télégraphie, permettant d'abaisser la taxe télégraphique en France. Grand in-8. 77 p. — Bordeaux, impr. Gounouilhou, 1859.

MITTRE. Mémoire sur les mines de pyrites de Saint-Jean-du-Pin, près d'Alais (Gard). In-4. 10 p. — Nîmes, impr. Clavel-Ballivet.

REY. De la séparation horizontale des terrains miniers, et de la

servitude de la mine sur la surface. In-8. 8 p. — Châlons-sur-Saône, impr. Dejussieu.

Traité de commerce avec l'Angleterre. Conseil supérieur de l'agriculture, du commerce et de l'industrie. Enquête. T. III. Industries textiles. Laine. In-4. XVI-784 p. — Paris, impr. impériale.

BUIGNET. Recherche sur la matière sucrée contenue dans les fruits acides; son origine, sa nature et ses transformations. Propositions de physique. In-4. 60 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

CAILLETET. De l'iodure de soufre soluble (sulfure d'iode et de sodium). In-4. 6. p. — Charleville, impr. Pouillard.

DEMEAUX. Notice sur la télégraphie en Belgique. In-8. 48 p. — Paris, impr. Hennuyer; libr. Dunod.

EUDES-DESLONGCHAMPS. Mémoire sur les brachiopodes du Kelloway-Rock, ou zone ferrugineuse du terrain callovien dans le nord-ouest de la France. In-4. 56 p. et 6 planches. — Caen, impr. et libr. Hardel.

FERGUSON. Notice sur les objets d'art trouvés dans le diluvium des environs d'Amiens et d'Abbeville. 1860. In-8. 41 p. — Amiens, impr. Yvert.

FERRAND. Les landes de Gascogne. Étude sur leur état actuel et sur les mesures à prendre pour hâter leur régénération. In-8. 71 p. — Paris, impr. Panckoucke.

GUILLEMIN. Propagation des courants dans les fils télégraphiques. Propositions de chimie. In-4. 67 p. et 1 pl. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

JOLY. Nouvelles expériences sur les effets de la garance mêlée aux aliments des mammifères et des oiseaux granivores. In-8. 8 p. — Toulouse, impr. Douladoure.

KAMPFFMEYER. Compte rendu sur le tannage accéléré de M. Knoderer. In-8. 22 p. — Strasbourg, impr. Silbermann.

KIRSCHLEGER. Flore d'Alsace, 3e volume, 2e partie. Guide du botaniste herborisateur et touriste à travers les plaines de l'Alsace et les montagnes des Vosges. In-12. P. 189 à 308. — Strasbourg, impr. Huder; les principaux libraires; l'auteur; Paris, libr. Baillière.

KRAFFT. Utilisation des menus combustibles sans valeur. In-8. 4 p. — Strasbourg, impr. Ve Berger-Levrault.

LAVOINE. Journal des observations météorologiques faites à Metz pendant l'année 1859. In-8. 35 p. — Metz, impr. Blanc.

LEFEBVRE. Considérations historiques sur l'agriculture de la Provence. In-8. 38 p. — Lille, impr. Chenu.

MILNE-EDWARDS. Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux, faites à la Faculté des sciences de Paris. Tome VI. 1re partie. Appareil digestif. In-8. 348 p. — Paris, impr. Martinet; libr. Victor Masson.

Note présentée à M. le ministre du commerce, de l'agriculture et des travaux publics, sur la situation des industries houillère et métallurgique, à la suite du traité de commerce avec l'Angleterre. Chambre de commerce de Saint-Étienne. In-4. 31 p. — Lyon, impr. Perrin.

STOCKHARDT. La chimie usuelle appliquée à l'agriculture et aux arts. Traduit de l'allemand sur la onzième édition par F. Brustlein, préparateur au cours de chimie agricole au Conservatoire des arts et métiers. Grand in-8. 528 p. avec fig. — Paris, impr. Raçon; libr. agricole de la Maison rustique, 26, rue Jacob, 1861.

THÉVENIN. Conférences de l'association polytechnique, 1re série (1859). Le chaos, l'homme, l'agriculture, les chemins de fer, par MM. Babinet, Ph. Chasles, Barral, Perdonnet. In-16. 179 p. — Paris, impr. Lahure; libr. Hachette.

VALENTIN-SMITH. Étude statistique sur la Dombes. Notes sur les méthodes mathématiques employées pour déterminer la vie moyenne, par M. Clément-Desormes. Lettre de M. Guillebeau, maire au Plantay, sur le mouvement de la population dans la commune du Plantay. In-4. 80 p. — Lyon, impr. Perrin.

WOINEZ. Le macadamisage et le pavage à Paris. In-12. 33 p. — Paris, impr. Allard; bureau du Moniteur judiciaire des chemins de fer.

BOUCHÉ. Notice sur un nouveau système de tables trigonométriques, suite de la notice sur un nouveau système de tables de logarithmes à cinq décimales publiée dans le cinquième volume des mémoires de la Société académique de Maine-et-Loire. In-8. 24 p. — Angers, impr. Cosnier et Lachèse; Paris, libr. Mallet-Bachelier.

GIRAUD. L'homme fossile. In-8. 38 p. — Abbeville, impr. Briez; Paris, libr. Jung-Treuttel.

JULLIEN. Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer à l'usage des savants, des ingénieurs, des fabricants et des élèves des écoles spéciales, comprenant les fabrications de la fonte, du fer, de l'acier et du fer-blanc, et précédé d'une

Introduction concernant les principes sur lesquels repose cette industrie, avec un atlas de 51 pl. Texte. In-4. VII-400 p. — Paris, impr. veuve Bouchard-Huzard; libr. E. Noblet, 1861. Avec l'atlas.

ARMENGAUD. Traité théorique et pratique des moteurs à vapeur, comprenant les notions préliminaires de physique et de mécanique appliquées à l'étude de la vapeur, un aperçu historique de l'invention des machines à vapeur, etc. Tome Ier. In-4. VIII-560 p. et atlas de 21 pl. — Paris, imprim. Claye; l'auteur, 45, rue Saint-Sébastien, 1861.

BOUDIN. Des races humaines considérées au point de vue de l'acclimatement et de la mortalité dans les divers climats. In-8. 22 p. — Strasbourg, impr. veuve Berger-Levrault et fils.

CATALAN. Traité élémentaire de géométrie descriptive, 2e partie. Des surfaces courbes; 2e *édition*, revue et augmentée. In-8. 143 p. et atlas de 19 pl. — Paris, impr. Hennuyer; libr. Dunod. 2e partie seule, avec atlas.

Comptes rendus des séances de la Société d'ethnographie américaine et orientale, rédigés par M. le baron de Bourgoing, sénateur. Tome I. In-8. 160 p. et table raisonnée. — Paris, impr. De Soye et Bouchet; Challamel aîné, libr. de la Société d'ethnographie.

Conseil supérieur de l'agriculture, du commerce et de l'industrie. Enquête. Traité de commerce avec l'Angleterre. Industrie métallurgique. Tome Ier. Fonte, fers et aciers. Dérivés de la fonte, du fer et de l'acier. Métaux et ouvrages en métaux autres que le fer. Machines et mécaniques. Ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. In-4. XXXI-871 p. — Paris, impr. impériale.

DERODE. Sur la machine pneumatique à double cylindre. In-8. 7 p. — Dunkerque, impr. Kien.

FLOURENS. De la raison, du génie et de la folie. Grand in-18 anglais. 280 p. — Paris, impr. Claye; libr. Garnier frères.

GAVARRET. Télégraphie électrique. Grand in-18. 432 p. avec fig. dans le texte. — Paris, impr. Martinet; libr. V. Masson et fils.

GERVAIS. De la métamorphose des organes et des générations alternantes dans la série animale et dans la série végétale. In-8. 146 p. — Montpellier, imp. Martel aîné.

MULSANT. Cours élémentaire d'histoire naturelle, contenant les applications de cette science aux diverses connaissances utiles, et offrant la réponse à toutes les questions du programme universitaire. Géologie. In-8. VII-143 p. avec figures. — Lyon, impr. Dumoulin; Paris, libr. Magnin, Blanchard et compagnie.

Notice sur l'eau gazeuse alcaline et ferrugineuse de Soulzbach, près Colmar (Haut-Rhin). In-8. 16 p. — Colmar, imp. Decker.

SERRES (Marcel de). De la classification minéralogique des métaux, d'après Haüy, et de l'établissement d'un ordre nouveau sous le nom d'allopsides; suivi de: Altitude de divers points depuis Pomérols jusqu'à Bédarieux, etc., par le même. In-4. 22 p. — Montpellier, imp. Boehm et fils.

SOLEIROL. Conséquences hasardées qu'on peut tirer des idées admises en géologie. Note présentée à la Société d'histoire naturelle du département de la Moselle, le 3 mai 1860. In-8. 28 p. — Metz, impr. Verronnais.

Statistique de la France. Résultats du dénombrement de la population en 1856. 2e série. Tome IX. In-4. XLI-183 p. — Strasbourg, impr. veuve Berger-Levrault et fils.

CHASLES. Les trois livres de porismes d'Euclide, rétablis pour la première fois d'après la notice et les lemmes de Pappus, et conformément au sentiment de R. Simson sur la forme des énoncés de ces propositions. In-8. IX-324 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

EBRAY. Note sur le mode de formation des poudingues de Nemours. In-8, 3 p. et 2 dess. — Paris, impr. Martinet.

FAIVRE. La question des générations spontanées. Discours de réception lu à l'Académie impériale des sciences, belles-lettres et arts de Lyon dans sa séance publique du 10 juillet 1860. In-8. 20 p. — Lyon, imp. Rey et Sézanne.

REMY. Voyage au pays des Mormons. Relation, géographie, histoire naturelle, histoire, théologie, mœurs et coutumes. 2 vol. in-8. XCXV-976 p., 10 grav. et carte. Paris, impr. Claye; libr. Dentu.

Situation de l'agriculture. In-8. 55 p. — Paris, impr. Tinterlin et compagnie.

BÉRAUD. De la détermination du volume et de la valeur des arbres en bois d'œuvre et particulièrement en bois de marine. In-8. 16 p. — Paris, impr. Hennuyer.

HEDDEBAULT. Études agricoles. Angleterre. Comice agricole de Lille. In-8. 15 p. — Lille, impr. Chenu.

MALAGUTI. Cours de chimie agricole professé en 1860. In-12. 255 p. — Rennes, impr. Oberthur.

Mémoire sur la propagation des courants électriques; résumé des expériences faites à Nancy par MM. Claude Guillemin et Émile Burnouf, du 23 septembre au 10 octobre 1859. In-4. 16 p. et pl. — Nancy, impr. veuve Raybois.

PÉRIER. Notice sur les eaux minérales de Monte-Catini, suivie d'une note sur les étuves de Monsummano (Toscane). In-8. 19 p. — Paris, impr. Cosse et Dumaine; libr. Rozier.

Recueil des travaux de la Société des anciens élèves des écoles impériales d'arts et métiers pour l'année 1860, publié par le comité de la Société. In-8. 337 p. et 13 pl. — Saint-Nicolas (Meurthe), impr. Trenel; Paris, libr. Lacroix.

SERGENT, Traité pratique et complet de tous les mesurages, métrages, jaugeages, de tous les corps, appliqué aux arts, aux métiers, à l'industrie, aux constructions, aux travaux hydrauliques, etc, enfin à la rédaction de projets de toute espèce de travaux du ressort de l'architecture, du génie civil et militaire; terminé par une analyse et une série de prix de 775 articles, avec détails sur la nature, la qualité, la façon et la mise en œuvre des matériaux; 3e *édition*, entièrement refondue et augmentée de 11 pl. 2 vol. In-8. 1166 p. avec atlas de 31 pl. — Saint-Nicolas (Meurthe), impr. Trenel; Paris, libr. Lacroix.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Ch.). Recherches sur les principaux phénomènes de météorologie et de physique terrestre aux Antilles. 2 vol. in-4, avec pl. gravées.

Tome Ier, comprenant les *Observations sur le tremblement de terre éprouvé à la Guadeloupe le 8 février 1843*, et les *Tableaux d'observations météorologiques*. Ce volume est accompagné d'une grande *Carte de la température des eaux à la surface de la mer des Antilles, du golfe du Mexique*, etc.

Le second volume est sous presse; il est consacré aux *Recherches sur la météorologie des Antilles et des contrées voisines*, et il sera accompagné de plusieurs planches de *courbes relatives aux phénomènes barométriques, thermométriques, hygrométriques*, etc.

BASSET. Précis de chimie pratique ou Éléments de chimie vulgarisée. 1 vol. in-18. 642 p. avec fig.

BAUDEMENT. Compte rendu de l'exposition d'agriculture.

BECQUEREL. Recherches sur la température des végétaux et de l'air et sur celle du sol à diverses profondeurs. In-4. 271 p. et 5 pl.

BECQUEREL (Edmond). Recherches sur les piles voltaïques. 1re partie, force électromotrice. 2e partie, résistance à la conductibilité. 3e partie, puissance chimique des piles, évaluation de leur dépense. 96 pages in-8, avec bois dans le texte.

BRESSE. Cours de mécanique appliquée, professé à l'école impériale des ponts et chaussées. 2e partie. Hydraulique. In-8. XIX-483 p. et pl.

BURAT (Amédée). Le matériel des houillères en France et en Belgique. Description des appareils, machines et constructions employés pour exploiter la houille. 1 vol. in-8 de texte, et atlas in-folio de 77 pl.

CALLAUD. Essai sur les piles servant au développement de l'électricité. In-8. 58 p. et pl.

CASTOR. Travaux de navigation et de chemins de fer. — Recueil d'appareils à vapeur employés dans ces constructions. 1 vol. grand in-8. 126 p. et atlas grand in-folio de 9 pl. doubles.

CAVROIS. Agent voyer en chef; manuel des agents voyers, experts, etc., en matière de subventions industrielles. 2e édit. In-8. 148 p.

CLAUDEL. Formules, tables et renseignements pratiques. 5e édit. 1 vol. in-8. XXXII-1173 p. et 3 pl.

CLEGG. Traité pratique de la fabrication et de la distribution du gaz d'éclairage et de chauffage. Ouvrage accompagné de 30 pl. cotées et de nombreuses figures dans le texte; traduit de l'anglais et annoté par Ed. Servier, ingénieur civil. Texte. In-4. 303 p. et 144 fig.

DESAINS. Leçons de physique. T. II. 1re section. In-18 jésus. IX-330 p.

DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ. Note sur la coulisse de Stephenson. In-8. 28 p.

DIDION (Is.). Traité de balistique. 2e édit. 1 vol. in-8, avec pl.

DUBREUIL. Manuel d'arboriculture des ingénieurs. Grand in-18, II-228 p. et 254 fig.

DU MONCEL. Notice sur l'appareil d'induction électrique de Ruhmkorff, suivie d'un mémoire sur les courants induits, 4e édit. In-8. X-400 p.

Études des lois des courants électriques au point de vue des applications électriques. In-8. x-201 p.

Expériences faites en 1850-1851 sur la fabrication de canons de 32 livres pour armement des côtes, coulés aux fonderies sud de Boston, de West-Point et de Fort-Pitt. In-8. 50 p. et planches.

FABRE. Mémoire sur les altérations frauduleuses de la garance et de ses dérivés. In-8. 47 p.

FORTHOMME. Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée. Tome II. In-18. 520 p. et 8 pl.

GIFFARD. Notice sur l'injecteur automoteur, breveté, pour l'alimentation des chaudières à vapeur et l'élévation de l'eau. In-4.

GOURNERIE (de la). Traité de géométrie descriptive. 1re partie. In-4. XIX-128 p. et 52 pl.

LABOULAYE (Ch.). Étude historique sur la théorie de la chaleur. In-8.

LAVERGNE (de). Économie rurale de la France depuis 1789. Grand in-8. 494 p.

LEVEZZARI. Astronomie. Système néocartésien ou mécanique céleste expliquée par les effets de la rotation. In-8. 20 p.

LECOUPEUR et fils. Filtres par ascension pour la clarification et l'épuration de l'eau de pluie, des citernes ou réservoirs et des mares. In-8. 15 p. et pl.

LEFOUR. Manuel aide-mémoire du cultivateur. 2e division. Agriculture. 1re partie. *Sol et engrais* (chimie et météorologie). In-18 jésus. 174 p.

LETELLIER. Guide-manuel de photographie sur collodion. In-12. 91 pages.

LUNEL (B.). Aide-mémoire d'histoire naturelle pour l'étude des animaux destinés à l'acclimatation, la naturalisation et la domestication, précédé de considérations générales sur les climats, de l'exposé des diverses classifications d'histoire naturelle, etc. 1 vol. in-18. 180 p. et bois dans le texte.

MORIN. Des planchers en fer. 48 p. avec tableaux.

NICKLÈS, professeur de chimie à la Faculté des sciences de Nancy. Les électro-aimants et l'adhérence magnétique. In-8. VII-305 p. et 5 pl.

ORTOLAN. LOTTE et LACARRIÈRE. Cours de machines à vapeur appliquées à la navigation, à l'usage des mécaniciens de la marine militaire et de la marine marchande. 1re partie. Examen au grade de quartier-maître mécanicien, d'après le programme officiel de 1860. Grand in-8. XII-344 p., avec atlas de 11 pl. et légendes explicatives.

PLATTNER. Traité théorique des procédés métallurgiques de grillage. Ouvrage traduit de l'allemand, par Fétis, ingénieur des mines. 1 vol. in-8, avec pl.

PERSOZ. Des accidents causés par les mastics plombifères.

Portefeuille des conducteurs des ponts et chaussées et des gardes-mines. 2e série, nos 5 et 6.

SOMMAIRE. — Type de remise à wagons. — Frais d'entretien des chaussées en empierrement. — Minerais de fer exploités et employés dans les usines, viaducs et galerie de Saint-Vallier (chemin de fer de Lyon à Avignon).

Le prix de l'abonnement est de 22 francs, pour la série qui se compose de dix numéros.

ROSE (Henry). Traité complet de chimie analytique; édition française originale. Analyse quantitative. 1er fascicule. In-8. 532 p.

ROTH. Des pyroléines ou huiles inoxydables pour le graissage des machines de filature. In-8. 96 p.

SCHACHT. Les arbres, études sur leur structure et leur végétation. Traduit de l'allemand par le docteur Édouard Morren, 1 vol. grand in-8, avec pl. et grav. sur bois.

TESTELIN. De l'électricité et du magnétisme relativement à la théorie de la pile de Volta, des aimants et des moteurs électriques. Grand in-8.

VIALA. Étude sur le rôle de l'azote dans la confection des engrais organiques et dans l'alimentation souterraine des plantes. In-8. 112 p.

STEPHENS (Henri). Application des sciences naturelles à l'agriculture. Traduit de l'anglais avec l'autorisation de l'auteur, par J.-L. Mélard. In-12 de 304 p. — Bruxelles, Émile Flatau.

DES ROTOURS. Compte rendu d'un manuel agricole intitulé : Petit-Pierre, de M. Calemard de la Fayette. In-8, 4 p. — Lille, imp. Leleux.

SAINTE-PREUVE. Notions de physique et de chimie applicables aux usages de la vie. 7e *édition*, conforme au programme officiel pour l'enseignement des écoles normales primaires, et contenant de nombreuses applications récemment faites des sciences physiques. Grand in-18, VIII-419 p. — Paris, lib. L. Hachette et Cie.

TARDIEU. Rapport général à S. E. M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, sur le service médical des eaux minérales de la France pendant l'année 1858, fait au nom de la commission des eaux minérales et lu à l'Académie impériale de médecine dans la séance du 23 octobre 1860. In-4, 35 p. — Paris, imp. Martinet; lib. J. B. Baillière fils.

BARANIE. Travaux et matériel de chemins de fer. Atlas de dessin d'exécution, accompagné de notes justificatives, devis, estimation, cahier des charges, etc. Sous presse : la partie relative au matériel roulant. — Paris, Dunod, libr.

BROISE et CHIEFFRY. Album encyclopédique des chemins de fer. Une livraison (comprenant matériel fixe, matériel roulant, travaux d'art, bâtiments, etc.) paraît tous les mois depuis le 1er janvier 1861. Chaque livraison se compose de 12 pl. en autographie. 1/2 grand aigle. — Paris, Dunod, libr.

Prix de l'abonnement. . . . . 48 fr. par an.
Prix de la livraison. . . . . 4 fr.

SGANZIN et REIBELL. Programme ou résumé d'un cours de construction, 5e édition entièrement refondue et considérablement augmentée, par M. Lalanne. Sous presse : la 1re partie: Gares et stations de chemins de fer. — Paris, Dunod, libr.

BAZAINE et CHAPERON. Chemins de fer d'Italie, leur description complète. 1 vol. in-4 de texte, accompagné d'un bel atlas de 60 à 70 pl. — Paris, Dunod, libr.

TERREIL (A.). Atlas de chimie analytique minérale. 17 tableaux en couleur. — Paris, Dunod, libr.

CLOEZ. Cours de manipulations et de préparations chimiques. 1 vol. in-8 avec figures. — Paris, Dunod, libr.

DORÉ. Chimie industrielle. In-8. — Paris, Dunod, libr.

DEBRAY. Chimie élémentaire. 1 vol. in-8 avec de nombreuses figures dans le texte. — Paris, Dunod, libr.

Paléontologie française ou description des animaux non vertébrés fossiles de la France. Continuation de la publication interrompue en 1857 par la mort de M. A. d'Orbigny. Cette suite est placée sous la direction d'un comité composé de MM. d'Archiac, Dauglas, de Verneuil, Héfort, Cotteau, Ebray, de Terres de Fromentel, Kœchlin, Schlumberger, Pictot, Triger.—Terrain crétacé. 1re livraison, texte, feuilles 1 à 4. Atlas, planches 1007 à 1018. — Paris, Victor Masson, libr.

LORY (Charles). Description géologique du Dauphiné (Isère, Drôme, Hautes-Alpes) pour servir à l'explication de la carte géologique de cette province. 2e partie.— Savy, Paris et Grenoble.

LAMÉ FLEURY. Code annoté des chemins de fer en exploitation ou Recueil méthodique et chronologique des lois, décrets, ordonnances, arrêtés, etc., concernant l'exploitation technique et commerciale des chemins de fer; annoté au moyen de décisions des autorités administrative et judiciaire. 1 fort volume in-8. 1861.

LAMÉ FLEURY. De la législation minérale sous l'ancienne monarchie ou Recueil méthodique et chronologique des lettres patentes, édits, ordonnances, déclarations, arrêts du conseil d'État du roi, du parlement et de la cour des monnaies de Paris, etc., concernant la législation minérale, publié sur les manuscrits originaux, annoté et mis en ordre. 1 vol. in-8.

LAMÉ FLEURY. Texte annoté de la loi du 21 avril 1810, concernant les mines, les minières, les tourbières, les carrières et les usines minéralurgiques. 1 vol. in-8.

ALLEMAGNE.

ERNST OTTO (G.). *Grundzüge einer philophischen...* Principes d'une cosmologie philomathique. In-8 avec 3 pl. lithogr. — Freiberg (Saxe), Engelhardt.

BRUNO KERL. *Handbuch der metallurgischen...* Manuel de métallurgie, 2e édition revue et considérablement augmentée. Elle formera 4 vol. qui se suivront à de courts intervalles. En vente, la 1re partie du Ier, in-8, avec 3 grandes planches lithographiées. — Freiberg, Engelhardt.

PREDIGER (C.). *Karte vom Harzgebirge...* Carte des montagnes du Hartz. — Clausthal.

SCHLAGINTWEIT. *Reis in Ost-Indien...* Voyage aux Indes orientales.

BOTHE (F). *Physikal...* Répertoire de physique donnant les principes élémentaires de cette science. In-8.— Brunswick.

BREMICKER (C.). *Logarithmisch-Trigonometrische...* Table des logarithmes à 6 décimales. In-8. — Berlin.

FOETTERLE (F.). *Geolog. atlas...* Atlas géologique de l'empire d'Autriche. 4 cartes. — Gotha.

Fortschritte der Physik... Progrès de la physique en 1858; par O. Hagen. In-8. — Berlin.

KLUGE (K.-E.). *Handbuch der Edelsteinkunde...* Manuel des pierres précieuses. In-8, avec 15 pl. — Leipzig.

LUDWIG (R.). *Buch der Geologie...* Géologie. Histoire naturelle de la terre. In-8, avec pl. et illustr. — Leipzig.

MULLER (H.). *Ueber die Beziehungen...* Sur les rapports entre les eaux minérales et les filons métallifères en Saxe et en Bohême. — In-8. — Freiberg.

BERG (C.-H.-E.). *Anleitung zum Verkolhen des Holzes...* Recherches sur la carbonisation du bois. In-8, avec planches et illustrations.

COTTA (B.). *Die Lehre von den Erzlagerstätten...* Étude des gîtes métallifères. 2e édition. T. II. In-8, avec illustrations. — Engelhardt, à Freiberg.

Jahresbericht über die Fortschritte... Compte rendu sur les progrès de la chimie agricole, publié par M. R. Hoffmann. 2e année, 1859-60. In-8. — Berlin.

REDTENBACHER (F.). *Theorie und Bau der Turbinen...* Théorie et construction des turbines. In-4, avec 13 pl. et atlas in-fol. — Mannheim.

REICHARDT (E.). *Das Steinsalzbergwerk...* L'exploitation du sel gemme à Stafsfurth, près de Magdebourg. In-4, avec 2 pl. — Iéna.

ERDMANN (O.-L.). *Ueber das Studium der Chemie...* Sur l'étude de la chimie. In-8. — Leipzick.

KENNGOTT (A.). *Uebersicht def Resultate...* Résumé des recherches minéralogiques en 1859. Grand in-8. — Leipzig.

SCHIEL (J.). *Enleitung in das Studium...* Préliminaire pour l'étude de la chimie organique. Grand in-8.

SCHMID (E.-E.). *Lehrbuch der Meteorologie...* Manuel de météorologie. Grand in-8. — Leipzig.

ANGLETERRE.

FORBES (J.-D.). *Reply to Tyndalls...* Réplique aux remarques de M. Tyndall sur les glaciers des Alpes. In-8. — Édimbourg.

BEWICK (J.). *Treatise of the Ironstone...* Traité sur le minerai de fer du district de Cheveland, illustré par une carte géologique et par des coupes coloriées. Grand in-8. — Londres.

DAMON (R). *Handbook of the Geology...* Manuel de la géologie de Weymouth et de l'île de Portland. In-12, avec illustrations. — Londres.

DARWIN (C.). *Journal of Researches...* Journal des recherches sur l'histoire naturelle et la géologie. In-8. — Londres.

DARWIN (C.). *On the Origin...* Sur l'origine des espèces. In-8. — Londres.

DAVISON (S.). *The Discovery and Geognosy...* Découverte et géognosie des dépôts aurifères en Australie et comparaison de ces gisements avec ceux de Californie, de Russie, de l'Inde, du Brésil. In-8, avec carte. — Londres.

FORBES. *Iceland...* L'Islande, ses volcans, ses glaciers. In-12, avec illustr. — Londres.

Genesis of the Earth... Génèse de la terre et de l'homme ou histoire de la création et de l'antiquité des races du genre humain. In-8. — Londres.

HUMBLE (W.). *Dictionary...* Dictionnaire de géologie et de minéralogie. In-8. — Londres.

PHILIPPS (J.). *Life of the Earth...* La vie sur la terre, son origine et sa succession. In-12. — Londres.

RAMSAY (A.-C.). *The old Glaciers...* Les anciens glaciers de la Suisse et du nord du pays de Galles. In-12, avec carte et illustr. — Londres.

Vestiges of the Natural History... Vestiges de l'histoire naturelle de la création. In-12. — Londres.

DAY. *Chemistry in its Relations...* La chimie dans ses rapports avec la physiologie et la médecine, avec cinq planches et de nombreuses illustrations gravées. In-8.

POOR. *History of the Railroads and Canals...* Histoire des chemins de fer et des canaux des États-Unis, faisant connaître leurs progrès, leurs frais d'établissement, leurs revenus, leurs dépenses, ainsi que leur état actuel. In-8.

SAY. *The complete Writings...* Œuvres complètes de Thomas Say, sur la conchyologie des États-Unis, éditées par W.-J. Binney, membre de l'Académie des sciences naturelles de Philadelphie. In-12.

BROWN (James). *The Forester...* Le forestier : Traité pratique sur la plantation, les soins et l'aménagement des arbres forestiers. In-8.

GODET (Théodore-L.). *Bermuda...* Les Bermudes : leur histoire, leur géologie, leur climat, leurs produits, leur agriculture, leur commerce et leur gouvernement depuis les anciens temps jusqu'à nos jours. In-8.

AGASSIZ. *Contributions to the Natural History...* Recherches sur l'histoire naturelle des États-Unis. 26 planches.

GEO. J. BRUSH. *Ninth supplement to* DANA's *Mineralogy...* Neuvième supplément à la minéralogie (de l'AMORICAN JOURNAL OF SCIENCE AND ARTS, t. XXXI, mai 1861).

ITALIE.

Annali del Reale... Annales de l'Observatoire royal météorologique au Vésuve; publiées par L. Palmieri. 1re année, 1859. Grand in-8, avec illustr. — Naples.

COSTA. *Paleontologia del Regno di Napoli...* Paléontologie du royaume de Naples. In-4. — Naples.

CURIONE (G.). *Sulla industria del ferro...* Sur l'industrie du fer en Lombardie. — G. Bernardoni, à Milan.

GASTALDI (Bartolomeo). *Cenni su alcune armi di pietra e di bronzo, etc...* Sur quelques armes de pierre et de bronze trouvées dans les duchés de Modène et de Parme, ainsi que dans les tourbières de la Lombardie et du Piémont. (Extrait de la Société italienne des sciences naturelles de Milan, Février 1861.)

GASTALDI (Bartolomeo). *Su alcune ossa di mammiferi fossili, etc...* Sur quelques ossements des mammifères fossiles du Piémont. (Lettre de B. Gastaldi au professeur Cornalia.) Extrait de la Société des sciences naturelles de Milan.

GASTALDI (Bartolomeo). *Fragmenti di geologia di Piemonte...* Fragments de géologie du Piémont. Sur les éléments du conglomérat miocène du Piémont. — Turin, imp. royale, 1861.

SCHIMPER (W.-P.). Icones morphologicæ atque organographicæ introduct. synopsi muscorum Europæorum. illustr. In-4, avec 11 pl. — Stuttgart.

ANNALES

DES MINES.

INVENTIONS ET APPLICATIONS NOUVELLES

SE RATTACHANT A L'ART DES MINES

ET AYANT DONNÉ DE BONS RÉSULTATS DANS LE BASSIN HOUILLER DE VALENCIENNES.

Par M. E. DORMOY, ingénieur des mines.

I. Cuvelage en pierre. — II. Boisage mobile pour les galeries des mines. — III. Nouvelle lampe de sûreté, à fermeture pneumatique. — IV. Lavage des toiles métalliques des lampes de sûreté. — V. Paliers à ressorts pour les poulies des fosses d'extraction.

Je vais décrire successivement un certain nombre d'inventions ou de perfectionnements, qui, dans ces dernières années, ont été mis en œuvre dans les mines du bassin de Valenciennes; je me propose de faire entrer dans ce cadre toutes celles qui pourront se produire plus tard, à mesure que l'expérience aura permis de porter un jugement sur leur valeur.

I. — CUVELAGE EN PIERRE.

Dans le nord de la France et en Belgique, lorsqu'on creuse des puits de mines, on rencontre avant d'arriver au terrain houiller des sables aquifères dont la pression

ne serait pas suffisamment maintenue par un simple muraillement en briques. On est donc obligé de garnir les puits, sur toute la hauteur occupée par les terrains aquifères, d'un cuvelage très-solide, dont on établit la base dans un terrain résistant, ordinairement sur la tête des argiles bleuâtres appelées dièves, que l'on recoupe avant d'atteindre le terrain houiller. Jusqu'à présent ces cuvelages ont toujours été construits en bois; on a soin d'employer du bois de chêne de première qualité, pris au cœur de l'arbre et sans aucun défaut. On donne aux pièces du cuvelage une épaisseur de 15 à 20 centimètres; le travail entier exige 40 à 50 mètres cubes de bois, ou davantage, suivant la hauteur du niveau qu'il s'agit de cuveler.

En présence du prix de plus en plus élevé du bois de chêne, on s'est demandé s'il ne serait pas possible d'employer une autre matière pour la confection des cuvelages.

Un cuvelage en fonte a déjà été établi, en 1852, au puits de Beaujardin, près Valenciennes, par la compagnie d'Anzin. Ce cuvelage était formé d'un simple tube en fonte de 28 mètres de hauteur et de $0^m,80$ de diamètre, dimension suffisante à cause de la destination du puits, qui ne devait servir qu'à l'aérage et à la descente des ouvriers. Ce tube fut placé à l'intérieur du puits, dont le diamètre était plus grand, mais dont le cuvelage était mauvais; et l'intervalle demeuré libre entre le cuvelage et le tube fut rempli avec du béton hydraulique fortement tassé.

Cette opération s'exécuta sans accident; mais le même travail serait difficile et coûteux s'il s'agissait d'un puits d'extraction de 4 mètres de diamètre comme ceux que l'on construit actuellement.

M. Pantignies, directeur du fond à la compagnie

d'Anzin, ayant, en 1856, à remplacer le cuvelage de la fosse Trou-Martin, résolut de le construire en pierres, et cette opération, dont je vais donner le détail, réussit parfaitement.

Voici d'abord dans quelles circonstances le travail a été fait. La fosse Trou-Martin, située à Vieux-Condé, avait été ouverte au commencement de ce siècle, et présentait intérieurement la section d'un carré de $1^m,94$ de côté. Le cuvelage avait déjà été réparé plusieurs fois, et se trouvait encore en assez mauvais état, à cause de la dégradation de la plupart de ses pièces. On décida que les travaux d'extraction seraient suspendus, que la fosse serait élargie circulairement, au diamètre intérieur de $3^m,20$, et que le cuvelage en bois serait supprimé.

La coupe des terrains traversés par la fosse Trou-Martin est la suivante (Pl. I, *fig.* 1) :

	ÉPAISSEUR.	PROFONDEUR.
	mèt.	mèt.
Sable avec silex.	1,50	»
Argile avec silex.	3,00	1,50
Craie avec silex.	6,00	4,50
Argiles bleues et petits bancs. . .	10,60	10,50
Dièves.	5,30	21,10
Tourtia ou grès vert	2,20	26,40
Sable.	0,50	28,60
Terrain houiller à la profondeur de.	»	29,10

On établit d'abord, à la base du niveau, dans le grès vert, un serrement destiné à retenir les eaux et à les empêcher d'aller inonder les travaux. A cet effet, on a posé dans la fosse un plancher formé de pièces de bois de $0^m,40$ sur $0^m,60$ d'équarrissage, et d'un diamètre total de $4^m,20$, dépassant par conséquent, ainsi que tout ce qui lui est superposé, de $0^m,50$ de chaque côté la circonférence du puits définitif, qui n'a que $3^m,20$. Depuis

ce plancher jusqu'à la base du cuvelage, on a enlevé la maçonnerie sur tout le pourtour du puits, et on l'a remplacée par les ouvrages suivants, qui constituent le serrement proprement dit. Sur le plancher, on a établi une maçonnerie de $0^m,50$ de hauteur, sur laquelle on a tassé sur pareille épaisseur des dièves (ou argiles grasses fournies par le terrain). Au-dessus des dièves, on a coulé $0^m,50$ de ciment, et au-dessus du ciment, on a établi une nouvelle maçonnerie de $0^m,50$. C'est sur cette maçonnerie que l'on a installé une noue de $0^m,50$ d'équarrissage, sur laquelle on a fait reposer la semelle d'un gibet destiné à soutenir l'ancien cuvelage. Ce serrement est traversé dans toute son épaisseur par un tuyau destiné à laisser couler au fond du puits les eaux qui doivent affluer lorsque l'on traversera *le niveau*, c'est-à-dire les terrains aquifères. Ces eaux furent, une fois ce moment venu, dirigées au moyen d'une communication vers la fosse Neuve-Machine, où elles furent extraites par la machine d'épuisement. Par la confection du serrement imperméable, on s'était réservé le moyen, dans le cas où les eaux, trop abondantes, auraient menacé d'inonder les travaux, de fermer l'ouverture du tuyau, et de les retenir complétement; mais on n'a pas été obligé d'avoir recours à cet expédient.

Le nouveau cuvelage en pierre devait être établi, comme l'ancien, sur une hauteur de 27 mètres. Il devait avoir $3^m,20$ de diamètre intérieur, et chacune de ses assises se composait de dix pierres taillées, à l'intérieur, exactement en arc de cercle; la pierre employée était un calcaire bleuâtre, venant de Maffle, près de Soignies (Belgique), et connu sous le nom de pierre bleue ou pierre de Soignies. L'épaisseur que l'on a donnée à ce revêtement a été de $0^m,20$ pour les 10 premiers mètres de hauteur, et de $0^m,25$ pour les 17 autres mètres. La hauteur de 27 mètres a été divisée en 83 assises ayant les hauteurs suivantes :

30 assises de.	0,33	pour les 10 premiers mètres.
45 assises de.	0,33	
4 assises de.	0,30	servant de raccordement de 10^m à 27^m de profondeur.
2 assises de.	0,25	
1 assise de.	0,20	
1 dernière assise de. .	0,20	à la base.
83 assises de 27 mètres de hauteur totale, y compris les joints.		

La première et la deuxième assise qui ont servi de base au cuvelage ont été garnies par derrière, entre leur face intérieure et le terrain, d'un picotage qui s'est exécuté de la manière suivante : après avoir soutenu par des gibets l'ancienne trousse picotée qui retenait les eaux et l'avoir suspendue à des tirants fixés à de longs arbres posés à plat à la surface du sol, on a contenu les terrains environnants, qui sont formés d'une argile un peu sableuse, en plaçant contre les parois des croisures formant un cône tronqué, dont la base est le nouveau cuvelage et dont le sommet est l'ancien cuvelage, de diamètre plus petit. Entre chaque joint vertical des pierres d'une même assise, AB, on a interposé une feuille de plomb de $0^m,005$ d'épaisseur, se prêtant à la compression. La même précaution a été prise pour toutes les assises, mais les feuilles de plomb n'ont que 0,003 d'épaisseur pour celles qui ne sont pas munies d'un picotage. Derrière cette circonférence en pierres, S,S, on a placé une seconde circonférence concentrique en bois blanc D, se prêtant à la compression, qui s'applique parfaitement contre la première, et qui a ses joints BC dans le prolongement des joints AB. Entre les terrains T formant les parois du puits et cette seconde circonférence on a ménagé un espace

MM, de $0^m,06$ de largeur, que l'on a rempli de mousse fortement tassée. On a ensuite enfoncé jusqu'à refus entre les pierres et le bois blanc d'abord des picots en bois blanc, puis des picots en chêne, en opérant à la fois sur tout le pourtour, de manière à répartir uniformément la pression. Les premiers picots enfoncés furent retirés et replacés la tête en bas, afin d'obvier à l'inconvénient qui se présente toujours, d'avoir, dans un même picotage, une pression beaucoup plus forte en haut qu'en bas. Après le picotage fini, les feuilles de plomb se sont comprimées, et, au lieu de $0^m,005$, ne présente plus que $0^m,002$ d'épaisseur; l'épaisseur de la couche de mousse placée contre le terrain se trouve, de $0^m,006$, réduite à $0^m,001$, et les picots règnent sur l'épaisseur de $0^m,005$, qui a été perdue par la mousse. Les joints BC du cintre en bois blanc, qui se sont écartés pendant le picotage, ont été remplis au fur et à mesure par des coins, enfoncés, comme les autres à coups de maillet. Grâce aux précautions prises dans le travail, les assises picotées se sont très-bien maintenues à leur position horizontale; le dérangement maximum n'a consisté qu'en un relèvement de $0^m,007$ d'un côté, tandis que dans les cuvelages en bois cette déviation s'élève quelquefois jusqu'à $0^m,030$. Au-dessus de chaque assise horizontale de pierres, on a placé une couverture grossière en chanvre, et les pierres ont été taillées près des joints horizontaux en formes de congés rentrants, le tout afin de faciliter le calfatage, dont je parlerai plus loin. Grâce à cette précaution, aucun éclat ne s'est produit dans les pierres. D'une assise à l'autre, les joints verticaux AB ont été croisés.

Au-dessus de la première assise picotée, on en a établi une seconde, et, sur la hauteur totale de 27 mètres, huit assises en tout, groupées deux par deux et placées

autant que possible dans des terrains un peu solides, et au-dessous des principales venues d'eau ont été garnies de picotages exécutés comme celui que je viens de décrire; leur hauteur est de $0^m,20$ et leur épaisseur est de $0^m,35$ pour les quatre premières, et de $0^m,40$ pour les quatre autres. Cinq trousses ou assises ont été en outre cointées et picotées seulement en bois blanc, dans des durs-bancs, afin de diminuer le poids que supportent les huit picotages. Les assises qui ne sont pas picotées laissent entre leur face postérieure et le terrain un espace dans lequel on a coulé du mortier composé de chaux hydraulique et de pouzzolane. L'élargissement et la pose du cuvelage se sont faits en montant pour la moitié inférieure du niveau, conformément au détail qui précède. On a ensuite repris l'élargissement en partant de la surface du sol. Le vide restant entre le terrain et le cuvelage a été partout complétement rempli, soit avec du ciment, soit avec du béton hydraulique plus ou moins délayé.

Après la pose du cuvelage entier, on a procédé au calfatage : on avait posé entre les assises des bandes de couvertures d'étoupes, qui ont ménagé des joints de $0^m,003$ à $0^m,005$ d'ouverture; dans ces joints on a enfoncé jusqu'à refus, à coups de masse, des étoupes goudronnées. Ces étoupes paraissent se conserver mieux dans la pierre que dans le bois, car on n'a eu encore aucune fuite dans ce cuvelage depuis plus de quatre ans qu'il est exécuté.

Ce travail a été entrepris en 1856, pendant l'été, moment où les venues d'eau sont les plus faibles, et a duré trois mois.

Voici les dépenses qu'il a occasionnées, comparées à celles qu'aurait exigé le cuvelage ordinaire en bois de chêne :

		CUVELAGE EN PIERRES. fr.		CUVELAGE EN BOIS. fr.
Main-d'œuvre.	Maître mineur.	1.682,90	Ces dépenses auraient été les mêmes..	
	Mineurs.	4.334,33		
	Machines, etc.	2.290,47		8.806
	Charpentier.	498,30		
	Rajusteurs de pierres. . .	430,00		
	Pour la pose du cuvelage.	6.500,00	. . . . .	6.000
Consommations.	Pierres, 114^{mc},18.	20.000,00	bois, 44^{mc},69 à 180 fr. . .	8,044
	Plomb, 1.800 kil. à 0^{f}.80.	1.440,00		
	Diverses.	6.000,00	. . . . .	6,000
Élargissement du puits : Il a été plus considérable, ce qui a causé un surcroît de dépense de.		240,00		
Dépense totale.		43.416,00	. . . . .	28,850

Il y a donc eu un excès de dépenses de 15.000 francs environ ; mais du moins cet essai a prouvé que ce mode de cuvelage était parfaitement praticable.

Cet excédant de dépenses pourrait d'ailleurs être beaucoup diminué dans d'autres travaux du même genre que l'on exécuterait à l'avenir. En effet :

1° On peut donner à ce cuvelage en pierres une épaisseur moindre ;

2° En faisant venir de Belgique la pierre brute, elle coûterait moins cher ; les droits d'entrée en France seraient beaucoup moins élevés qu'en la faisant venir toute taillée, comme on l'a fait ici ;

3° Le prix du mètre cube de bois de chêne de première qualité est en ce moment presque aussi élevé que celui de la pierre.

Les réparations, s'il y en avait à faire, seraient plus difficiles que pour le bois, à cause du volume des pièces ; il faudrait en outre avoir soin de laisser un peu plus de jeu aux pièces que l'on remettrait. Lorsqu'on emploie ce système, on doit donc, à cause de cette considération, se mettre à l'abri des causes de dérangement du puits, ce qui se fera en réservant autour de lui un fort massif de terrain, par exemple 50 mètres ou 100 mètres dans tous les sens que l'on laissera intact pendant toute l'exploitation, et qu'on viendra reprendre au moment d'abandonner le puits : la forte épaisseur de ce massif ne sera qu'une raison de plus pour qu'on n'en néglige point l'exploitation. La pierre présente en effet beaucoup moins d'élasticité que le bois, et des tassements inégaux d'un côté pourraient avoir pour résultat d'écorner ou de briser l'une des pièces. Mais la solidité générale du revêtement exécuté à la fosse Trou-Martin est telle qu'il ne s'y présentera sans doute aucune rupture.

II. — BOISAGE MOBILE POUR LES GALERIES DE MINES.

J'ai décrit dans le tome XI des *Annales des mines*, 3^{e} livraison de 1857, page 641, un nouveau mode de boisage pour les mines, dans lequel on soutient le toit des veines de houille exploitées par des appareils mobiles, dont aucune partie n'est laissée dans les tailles remblayées, ce qui évite une énorme consommation de bois.

Ce système a été appliqué sans interruption dans plusieurs des puits de la compagnie d'Anzin ; il est aujourd'hui exclusivement en vigueur dans toutes les fosses des concessions houillères de Fresnes et de Vieux-Condé, et l'on a commencé à l'introduire dans celles de Denain et dans celles d'Anzin. Une expérience de quatre années permet de le juger définitivement comme très-bon.

Rappelons brièvement que, dans ce système, on soutient le toit de la veine en cours d'exploitation, au moyen de madriers en bois d'orme qui s'appliquent contre lui, et qui reposent sur la tête d'une botte, ou pieu vertical en bois, muni à l'intérieur d'une vis et d'un écrou permettant d'en faire varier la hauteur.

Deux modifications légères ont été introduites par l'usage; d'abord, les bottes qui étaient primitivement en orme, ont été faites en chêne, ce qui augmente leur durée; quant aux madriers, le chêne ne peut pas s'appliquer à leur confection: ils se briseraient trop facilement sous la pression des terrains, et le bois d'orme est préférable parce qu'il présente une certaine élasticité.

L'autre perfectionnement a eu pour but d'éluder la pression des terrains, qui, en comprimant fortement tout l'appareil entre le toit et le mur de la veine, rendait fort difficile le desserrage de l'écrou, surtout lorsque le travail avait été arrêté un jour ou deux. Pour remédier à cet inconvénient, on place à la partie inférieure de la botte un cercle creux en fer d'un diamètre intérieur un peu plus grand que celui de la botte et d'une hauteur de $0^{m},04$, dans l'intérieur duquel on a tassé préalablement du charbon menu. C'est sur ce menu charbon que la compression du terrain agit; lorsqu'on veut desserrer l'écrou, on soulève le cercle de fer, on fait tomber avec quelques coups de pic le charbon menu qui sert de base à l'appareil; on donne ainsi du jeu à celui-ci, et on peut alors desserrer l'écrou sans aucune difficulté.

Voici maintenant comment on peut évaluer la dépense occasionnée par ce système de boisage, et se convaincre qu'il présente une immense économie sur l'ancien. L'expérience a prouvé que les madriers en orme durent 9 mois en moyenne; que les bottes en bois de chêne peuvent durer 5 ans, ainsi que les cercles de fer qui les consolident, et que ceux qui sont placés à la base; quant aux vis elles-mêmes et aux clefs en fer qui servent à les desserrer, leur usure est à peu près nulle, et l'on peut évaluer leur durée à 30 ans; car, si elles sont mises de côté avant ce laps

de temps écoulé, la valeur qu'elles conservent comme vieux fer vient en déduction de la dépense.

Voici donc, dans le tableau suivant, le prix de revient de chacune des pièces qui composent l'appareil, et leur durée moyenne, d'où l'on conclut la dépense occasionnée pour chacune par l'usure annuelle.

	PRIX de revient.	DURÉE moyenne.	DÉPENSE annuelle.
	fr.		fr.
Vis, 13 kil. de fer à $1^{f},35$.	17,50	30 ans	0,58
Madrier en bois d'orme, dimensions : 1,80 × 0,20 × 0,06 = 0,022 à 68 fr.	1,40	9 mois	1,90
Botte : en bois de chêne, $0^{mc},020$ à 100 fr. . $2^{f},00$; deux cercles en fer pour la consolider : Neufs. $1^{f},80$, Vieux. $1^{f},00$; Moyenne. . . . . $1^{f},40$; Main-d'œuvre de confection. . . $0^{f},40$	3,80	5 ans	0,76
Cercle de fer placé au bas de la botte : Neuf . . . . $0^{f},90$, Vieux. . . . $0^{f},50$; Moyenne. . . . . $0^{f},70$	0,70	5 ans	0,14
Clef en fer, 5 à 6 kil.	5,00	30 ans	0,02
Il ne faut qu'une ou deux clefs pour le service de toute une taille.			
Prix de la botte-vis.	23,40		
Dépense occasionnée par son usure annuelle.			3,40

La dépense annuelle occasionnée par l'usure de chaque appareil est donc de 3 fr. 40. Pour le service d'une taille ordinaire de 10 mètres de relevée il faut employer 15 de ces appareils; leur usure occasionne donc une dépense annuelle de 51 fr., qui comprend également l'intérêt et l'amortissement du capital employé à l'achat primitif. Or, pendant l'année, une taille de 10 mètres de hauteur peut avancer, en moyenne, de 250 mètres, ce qui représente une surface de veine exploitée de 2.500 mètres quarrés; la dépense par mètre quarré de surface exploitée est donc de 2 cen-

times seulement, soit encore 4 à 5 centimes par tonne de houille abattue.

Lorsqu'on emploie le procédé de boisage ordinaire, la dépense pour une taille de 10 mètres de hauteur est de 3f,09 par mètre courant, savoir :

	mèt.		fr.	fr.
3 rallongues de.. . .	3,00	chacune à	0,25	0,75
15 bois de taille de. .	0,65	chacun à	0,06	0,90
24 esclimbes de. . .	1,20	chacune à	0,06	1,44
		Total.		3,09

Soit 3f,09 pour 10 mètres quarrés de surface exploitée, ou 0f,31 par mètre quarré.

Ainsi quand on emploie le système de boisage mobile, la dépense exigée par le soulèvement du toit n'est que 1/15e de celle qu'exigeait l'ancien boisage, l'économie réalisée est de 0f,28 par mètre quarré de surface exploitée, soit 50 ou 60 centimes par tonne de houille extraite.

Pour une fosse, qui peut extraire par jour 300 tonnes de houille, il faut avoir en roulement un matériel d'une valeur d'une dizaine de mille francs; ainsi, le matériel qui existe à la fosse Bonnepart, à Fresnes, est le suivant :

	fr.		fr.
460 vis à.	17,50	la pièce, valeur.	8.050
645 bottes de hauteurs diverses.	3,80	—	1.816
490 madriers.	1,40	—	686
30 clefs.	5,00	—	150
330 cercles.	0,70	—	231
Valeur totale du matériel.			10.933

III.— NOUVELLE LAMPE DE SURETÉ A FERMETURE PNEUMATIQUE.

Depuis que le célèbre Davy a inventé la lampe de sûreté qui porte son nom, on a apporté à cet appareil diverses modifications; en conservant à la lampe sa

cheminée en toile métallique qui en forme la partie essentielle, on s'est attaché principalement, 1° à lui faire produire plus de clarté pour la même consommation d'huile; 2° à empêcher, par un mécanisme, qu'elle puisse être ouverte par l'ouvrier qui s'en sert. Le premier résultat a été plus ou moins complétement atteint; mais aucun des systèmes imaginés jusqu'à présent n'avait pu arriver à rendre complétement impossible l'ouverture de la lampe dans les travaux. Plusieurs inventeurs ont muni la lampe d'une sorte de serrure s'ouvrant au moyen d'une clef déposée entre les mains du lampiste; mais si la serrure est simple, l'ouvrier parvient toujours à l'ouvrir au moyen d'un clou ou d'un outil quelconque; si elle est compliquée, la lampe cesse d'être pratique. M. Dubrulle, de Lille, avait muni la partie inférieure de la lampe d'une tige qui empêchait la rotation de la partie supérieure, et par conséquent l'ouverture; pour l'ouvrir il fallait abaisser la tige, ce qui ne pouvait se faire qu'en manœuvrant un bouton placé au-dessous, et commandant également en même temps la descente de la mèche; de telle manière que la tige n'était complétement abaissée que lorsque la mèche était déjà rentrée dans le porte-mèche et éteinte. Mais l'ouvrier eut bientôt trouvé divers moyens de l'ouvrir; et d'ailleurs, une fois éteinte, il est toujours possible de la rallumer avec une allumette.

M. Laurent, d'Anzin, vient d'imaginer une disposition toute nouvelle et suffisamment simple, qui ne laissera plus à l'ouvrier aucun moyen d'ouvrir lui-même sa lampe dans les travaux. Voici en quoi elle consiste :

Les quatre tiges qui entourent la cheminée en toile métallique pour la préserver des chocs se prolongent en forme de petits crochets recourbés au-dessous de la

rondelle qui supporte cette cheminée; ces quatre crochets peuvent pénétrer dans un même nombre d'ouvertures pratiquées à la partie supérieure de la plateforme EE surmontant le corps de la lampe. Pour placer ainsi les crochets dans les échancrures, il faut comprimer une petite tige verticale A (*fig.* 2) qui traverse le réservoir d'huile B dans l'intérieur d'une douille vide C placée près de la paroi, et qu'un ressort non indiqué dans la figure tend toujours à faire remonter à 5 millimètres au-dessus du niveau de la face FF. On tourne ensuite les deux parties l'une par rapport à l'autre; par ce mouvement, dit de bayonnette, l'extrémité supérieure de la tige comprimée arrive en face d'une ouverture dans laquelle la pression du ressort l'oblige d'entrer, et, à partir de ce moment, aucun mouvement de rotation n'est plus possible; la lampe est fermée, et on ne peut évidemment l'ouvrir qu'après avoir dégagé la tige; or comme celle-ci est complétement cachée, il faut pour cela comprimer le ressort qui la pousse. Voici comment on arrive à ce résultat.

La tige A après avoir traversé verticalement dans la douille C tout le réservoir d'huile B, en sort par le fond inférieur DD en un point situé tout près de la circonférence. Elle est attachée là à une petite pièce horizontale GH en fer qui sert de levier, et qui vient en effet prendre son point fixe ou plutôt son centre de rotation en un autre point H du même fond inférieur. Pour abaisser la tige, il suffit évidemment d'agir sur le levier GH. A ce levier et près de l'axe de rotation est fixée une goupille K faisant corps avec une plaque de tôle horizontale mince et flexible, qui forme un double fond LM. En dessous de ce double fond existe un compartiment vide fermé à sa partie inférieure par un nouveau fond NP, en tôle; mais ce dernier fond

n'est pas complétement plein. Il porte en son centre un ajutage intérieur percé latéralement de deux petits trous d'un millimètre de diamètre. (Il vaudrait mieux supprimer cet ajutage et percer simplement les deux trous O, O, dans le fond lui-même, ainsi qu'on l'a indiqué dans la figure). Pour ouvrir la lampe, il faut avoir à sa disposition une petite pompe aspirante formée d'un cylindre creux en fonte de quelques décimètres de longueur, dans lequel se meut un piston. Ce cylindre est supporté à hauteur d'appui sur un trépied, et il suffit d'appuyer le pied sur une pédale pour faire descendre le piston (*fig.* 3). Si donc on a préalablement posé la lampe à ouvrir au-dessus du cylindre, lequel est muni d'une rondelle de caoutchouc qui en facilite l'adhérence, le piston en se retirant, fait diminuer notablement la pression de l'air contenu dans le dernier compartiment LMNP de la lampe. Le fond supérieur LM de ce dernier compartiment obéissant à la pression atmosphérique, s'abaisse en prenant une forme convexe; il entraîne avec lui la goupille K, qui agit sur le levier GH, et celui-ci, comprimant le ressort, abaisse la tige A qui s'opposait à l'ouverture de la lampe. On peut alors ouvrir celle-ci en tournant en sens inverse ses deux parties que l'on avait, pour la fermer, tournées en sens direct. Il suffit de quelques secondes pour poser la lampe sur la pompe, pour manœuvrer en même temps la pédale, et pour enlever en la tournant la cheminée de toile métallique.

Pour élever ou abaisser la mèche dans le porte-mèche, la rondelle qui supporte la cheminée de toile métallique est, sur sa partie plate supérieure, crénelée à l'intérieur de ladite cheminée, en forme de crémaillère horizontale et circulaire. Elle engrène avec un bouton cylindrique vertical R, placé entre la che-

minée et le porte-mèche, et correspondant par un axe horizontal RT qui traverse ce dernier, avec un second bouton S analogue, denté également, et arrivant en regard de l'axe de la mèche UV, sur laquelle il exerce une pression. Il suffit donc de tourner à la main la cheminée de toile métallique pour voir la mèche monter ou descendre. Au moyen de ce mouvement on peut manœuvrer la mèche, et, à l'aide de petits chocs donnés avec la paume de la main, on peut la moucher quand cela est nécessaire.

La disposition que je viens de décrire n'affecte nullement l'appareil d'éclairage; la lampe en question donne donc la même clarté que toute autre, eu égard à la dépense en huile et à la qualité de la mèche; on peut, si on le juge convenable, terminer vers le bas la cheminée de toile métallique par une partie en verre, afin d'augmenter la clarté; en un mot le mécanisme de fermeture pneumatique peut s'adapter à une lampe d'un système quelconque : ce mécanisme n'a trait qu'à empêcher l'ouvrier d'ouvrir lui-même sa lampe.

Ce résultat, ainsi que je le disais dans le principe, est atteint de la manière la plus complète; toute action directe sur la tige est impossible, puisqu'aucune partie n'en est visible; toute succion que l'on pourrait opérer avec les lèvres n'aurait qu'un effet insignifiant; il faut absolument, pour ouvrir la lampe, être muni de la pompe aspirante; en conséquence il faut avoir une de ces pompes dans le cabinet du lampiste, et conserver en outre à chaque accrochage, soit une pompe, soit un certain nombre de lampes de rechange, tout allumées.

Le constructeur, M. Défossez, à Anzin, peut fournir ces lampes à peu près au même prix que les lampes ordinaires, et les pompes au prix de 35 francs l'une.

L'adoption de ce système est donc une précieuse

garantie de sécurité pour les mines où il existe du grisou, car il faut remarquer qu'il ne permet pas d'ouvrir la lampe, même en l'éteignant, ce qui n'aurait été qu'une demi-solution du problème.

IV. — LAVAGE DES TOILES MÉTALLIQUES DES LAMPES DE SURETÉ.

Les cheminées en toile métallique dont sont munies les lampes de sûreté employées dans les mines, sont sujettes à être encrassées par l'huile et la poussière, et l'on est obligé, malgré les soins journaliers que doit leur donner le lampiste, de les nettoyer à fond très-souvent. La méthode de nettoyage qui consiste à chauffer ces toiles métalliques au rouge a l'inconvénient de les oxyder et de les trouer rapidement, ce que l'on doit éviter avec le plus grand soin, puisqu'une toile qui présente le moindre trou est hors de service. MM. Parent et Dernoncourt, de la compagnie des mines d'Anzin, ont imaginé une petite machine pour opérer ce nettoyage d'une manière nouvelle, et qui est bien préférable. Cette machine est excessivement simple; elle se réduit à un tambour à axe horizontal portant près de sa circonférence des supports horizontaux sur lesquels on embroche une quarantaine de toiles; on fait tourner le tout à la main : chaque toile vient se plonger dans une forte solution de potasse, qui forme un bain à la partie inférieure, puis vient se frotter sur deux brosses fixes disposées à cet effet.

On emploie, pour former ce bain alcalin, 10 kil. de potasse brute pour 4 hectolitres d'eau. Ce bain est d'autant meilleur au point de vue du nettoyage, qu'il est plus vieux; on ne le renouvelle que lorsqu'il est devenu trop boueux.

En sortant de ce bain, les tissus sont plongés dans un autre bain, formé d'eau de chaux que l'on re-

nouvelle tous les jours. Il faut environ un demi-kilogramme de chaux vive pour un hectolitre d'eau. A la suite de ce rinçage, les toiles sont placées dans une étuve où elles sont séchées rapidement, afin d'éviter l'oxydation. Elles sont ensuite brossées à la main et envoyées aux fosses.

Ce lavage se répète tous les jours sur les tissus des lampes; le travail d'une seule journée dans le fond de la fosse suffit pour les salir.

Un seul foyer chauffe les deux bains et l'étuve. Il suffit de 20 minutes pour toutes les opérations, et toutes sont faites par une seule personne. On emploie à Denain un ouvrier amputé d'une jambe, qui reçoit 0f.20 par 100 toiles lavées, et qui peut en laver jusqu'à 1.500 dans une seule journée.

Le prix d'un appareil à laver, avec rinçeur et étuve, varie de 500 à 800 francs, selon la dimension.

La compagnie d'Anzin s'est trouvée bien de cette invention; elle a installé un de ces appareils à Denain en 1858, et un second à Anzin en 1860.

V. — PALIERS A RESSORTS POUR LES POULIES DES FOSSES D'EXTRACTION.

L'un des plus grands inconvénients des machines d'extraction employées dans les mines, quel que soit d'ailleurs leur système, réside dans l'inégalité de l'effort qu'elles ont à faire pendant le travail. Si l'on extrait à une profondeur de 350 mètres, et que l'on remonte à chaque fois 4 wagons de houille de 6 hectolitres chacun, pesant ensemble 2.160 kilog., la machine doit soulever au départ, outre ce poids de 2.160 kilog., une longueur de câble de 350 mètres pesant également environ 2.100 kilog.; tandis qu'une minute après, à la fin du voyage, lorsque la cage

pleine est près d'arriver au jour, le poids utile du charbon qui remonte est équilibré par le poids mort de la seconde corde qui est descendue dans le puits et la machine n'a plus aucun effort à produire. Le choc subit qui se produit au moment de l'enlevage, outre qu'il tend à détériorer tous les organes de la machine, est surtout très-nuisible pour le câble dont il fatigue les fibres en les fouettant, et c'est à cause de ces chocs ruineux, répétés toutes les minutes, que les câbles des mines ont si peu de durée en service. Il y a plus; cet effet normal, qu'aucun soin ne peut éviter, est considérablement aggravé par la faute des ouvriers. Si, en effet, la machine n'a que juste la force qui est nécessaire pour vaincre l'effort au départ, le mécanicien, pour diminuer la difficulté de l'enlevage, a quelquefois la malencontreuse idée de la lancer préalablement d'un demi-tour, manœuvre des plus imprudentes, qui augmente encore le choc produit sur le câble, et qui l'expose à le briser; enfin il doit arriver très-souvent, même sans préméditation de la part du mécanicien, que la corde n'étant pas complétement tendue au moment du départ, la machine prend d'avance une certaine vitesse avant de rencontrer véritablement la résistance à vaincre, circonstance qui augmente également le choc, et les chances de rupture de la corde.

On a cherché bien des moyens de remédier à ces divers inconvénients. En Angleterre, et récemment à Anzin (Nord), on a muni les machines d'extraction de contre-poids qui se trouvent élevés au moment où l'on a la cage à enlever, et dont la masse agissante diminue pendant la première moitié du voyage, pour se transformer en résistance à vaincre pendant le seconde moitié. On pourrait obtenir de ces contre-poids des résultats excellents si l'on pouvait calculer leur forme et

leurs dimensions de manière à ce qu'ils fissent équilibre à la corde dans toutes ses positions, ou, pour mieux dire, de manière à ce qu'ils rendissent constant l'effort à faire par la machine, et nous espérons avoir prochainement à décrire ici une invention qui atteint complétement ce but; on obtiendrait déjà ainsi d'immenses avantages, mais on ne remédierait pas complétement aux chocs qui se produisent sur le câble au départ. On a été conduit depuis longtemps à donner plus d'épaisseur à la corde à son extrémité inférieure, et l'on en est arrivé, en suivant cette idée, à composer chaque câble d'extraction de quatre ou cinq tronçons de câble, d'une centaine de mètres chacun, et dont les dimensions augmentent à mesure qu'on se rapproche du point d'attache de la charge. Mais cette disposition, outre qu'elle complique beaucoup la fabrication des cordes, soit en chanvre, soit en fil de fer, ne résout que bien incomplétement le problème. Depuis longtemps également les exploitants anglais, pour atténuer les effets destructifs des chocs sur le câble, placent un ressort à sa partie inférieure, entre lui et la charge à soulever. Mais, par ce moyen, l'inertie du câble n'est pas détruite, et les chocs se produisent encore. Il restait donc à faire agir le ressort à la partie supérieure de la corde, et c'est M. Guibal, de Mons, qui en a trouvé le moyen par une disposition ingénieuse et pratique, et qui est d'autant meilleure que loin d'exclure l'emploi des autres pefectionnements, elle peut se combiner avec eux. Les ressorts sont placés sous les paliers supportant les axes des poulies d'extraction ou molettes, c'est-à-dire en haut du puits, et presque à l'origine du câble. Lorsque la machine a un effort à faire au départ, c'est sur les poulies d'extraction qu'il vient se transformer; la force, au lieu de rencontrer là

la résistance absolue d'une poulie rigide qui l'oblige à se jeter tout entière sur le câble déroulé, rencontre une résistance qui cède graduellement en emmagasinant une partie de la puissance, qu'elle restitue plus tard. Il est évident que le choc produit sur le câble est ainsi considérablement atténué. La flexibilité du ressort peut se régler à volonté au moyen de vis de support; on n'a donc pas à craindre qu'une différence d'élasticité dans les deux ressorts qui supportent le même axe ne les fasse travailler irrégulièrement; au reste, la perfection à laquelle on est arrivé aujourd'hui dans le travail de l'acier et dans la fabrication des ressorts, permettrait aisément d'échapper à cet inconvénient.

Plusieurs appareils de ce genre ont été installés en Belgique; en France, la compagnie des mines d'Anzin en a fait également placer un à la fosse Chaufour, la plus profonde peut-être du continent, puisque l'extraction s'y fait à 620 mètres. Les ressorts y sont composés de seize lames d'acier superposées; leur épaisseur totale au milieu est de $0^m,18$, leur longueur de $1^m.30$, et leur largeur de $0^m,09$ (*fig. 4*). La corde pèse 6 kil. par mètre courant, et la charge de charbon extraite à chaque voyage pèse 2.000 kil., ce qui donne au départ un poids total de 5.180 kil. à enlever. Dans ces circonstances, les ressorts se courbent rapidement au départ, et prennent une flèche de 8 à 10 centimètres; aucun inconvénient ne s'est révélé dans la pratique; loin de là, la machine, qui n'a que 25 chevaux de force, a acquis, grâce à ce perfectionnement et grâce au tiroir Hanrez qui a été appliqué à sa distribution, une marche plus facile et plus régulière.

EMPLOI DE LA CHALEUR

ET DE LA DÉCRÉPITATION QU'ELLE PEUT PRODUIRE POUR LE PERCEMENT DE CERTAINES ROCHES TRÈS-DURES, ET NOTAMMENT DES QUARTZITES.

Par M. DAUBRÉE.

Les arts arrivent facilement à entailler et à façonner les bois, les métaux et les pierres tendres; mais ils sont beaucoup plus limités dans leurs moyens, quand ils s'attaquent aux roches dures. Il peut donc être utile d'ajouter un procédé à ceux dont ils disposent dans ce dernier cas, sauf à l'expérience à apprendre ultérieurement si l'industrie pourra jamais en tirer parti.

C'est à ce titre, et sans y attacher plus d'importance que le fait lui-même ne le mérite, que je citerai une expérience que j'ai faite sur les quartzites.

On connaît la dureté de cette espèce de roche, et avec quelle difficulté l'acier l'entame. Or si l'on applique une chaleur brusque et intense sur une partie circonscrite de cette roche, en dirigeant, par exemple, sur un point l'extrémité de la flamme d'un chalumeau à gaz oxygène et hydrogène, il se détache instantanément de la surface de nombreuses esquilles qui sont projetées jusqu'à plusieurs décimètres de distance, avec un petillement prononcé. Le quartz se comporte alors comme certaines variétés de charbon de bois, dès qu'on en soumet un morceau au dard du chalumeau. Ces esquilles plates, tranchantes, souvent de plusieurs millimètres de largeur, se séparent par une sorte d'ex-

foliation de la roche. En dirigeant convenablement le dard de la flamme, j'ai pu creuser ainsi dans un échantillon de quartzite des Alpes, de la variété la plus dure, un trou cylindrique de 6 centimètres de profondeur, et de forme assez régulière pour qu'il paraisse avoir été foré par un fleuret; il a suffi pour cela de moins de cinq minutes. Une action analogue se manifeste aussi quand c'est l'air atmosphérique qui sert à la combustion de l'hydrogène alimentant le chalumeau; mais l'effet est beaucoup plus faible que dans le premier cas. Il faut donc non-seulement que la température s'élève brusquement, mais aussi qu'elle soit extrêmement haute, pour que la dilatation subite qui en est la conséquence produise une décrépitation rapide.

Les couches de quarzite, très-développées dans le massif du mont Cenis, sont redoutées comme l'une des principales difficultés du percement du grand tunnel des Alpes, que les ingénieurs italiens ont entrepris, au moyen de procédés aussi ingénieux que gigantesques. Le fleuret le mieux aciéré ne peut en effet y creuser les trous, destinés à recevoir la poudre qui doit faire éclater la roche, sans s'émousser rapidement. Peut-être un procédé du genre de celui qui vient d'être signalé serait-il susceptible de devenir applicable aux opérations de ce genre. Mais il faudrait préalablement multiplier les essais en variant le mode d'application de la chaleur, ainsi que la forme à donner au bec du chalumeau, de manière à le porter jusqu'au fond du trou. Ce serait comme une extension du travail par *le feu* employé depuis des siècles dans la mine du Rammelsberg au Hartz (1).

(1) On facilite l'abatage de la roche qui est d'une ténacité exceptionnelle, en allumant des feux de bois le long de ses parois.

Le cristal de roche et d'autres variétés du quartz cristallisé que j'ai essayés de la même manière, ne décrépitent pas violemment comme le quartzite, dont le mode de formation et de structure présente d'ailleurs des particularités que j'ai cherché à éclaircir ailleurs.

J'ajouterai comme observation analogue que beaucoup de granites, et des plus durs, tels que ceux qui se trouvent en cailloux dans le Rhin et la Moselle, peuvent être désagrégés plus facilement encore. Des morceaux soumis lentement à une chaleur rouge blanc, puis refroidis lentement aussi, par conséquent sans qu'ils aient été étonnés, perdent tellement leur cohésion qu'ils se laissent pulvériser sous la simple pression de la main.

NOUVELLES RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LE FROTTEMENT DE GLISSEMENT.

Par M. BOCHET, ingénieur des mines.

I.

BUT DES NOUVELLES RECHERCHES; CIRCONSTANCES DANS LESQUELLES ELLES ONT PU ÊTRE FAITES.

But des nouvelles recherches.

Dans un précédent mémoire (1), j'ai montré que, de quelques expériences faites sur le chemin de fer Lyon, en 1851, par M. J. Poirée, ingénieur des ponts et chaussées, et de quelques autres que j'ai faites sur le chemin de fer de l'Ouest, en 1856, il résultait que le frottement, ou résistance au glissement, des roues calées de wagons, et aussi de sabots en fer introduits sous ces roues, *diminue* bien incontestablement à mesure que la vitesse augmente, au moins dans les limites comprises entre les petites vitesses et les grandes vitesses de 20 et même de 25 mètres par seconde, aussi bien sur rails mouillés que sur rails secs, et aussi sur rails plus au moins humides.

(1) Présenté à l'Académie des sciences le 26 avril 1858, et inséré en extrait dans son compte rendu (année 1858, 1er semestre, page 802), puis publié *in extenso* dans les *Annales des Mines* (année 1858, 2e livraison).

Le fait de la variation du frottement avec la vitesse était bien pressenti avant ces expériences et avait été indiqué comme devant exister ; mais il n'avait pas encore été, que je sache du moins, établi nettement et incontestablement, par des expériences précises et concluantes. Celles que je viens de rappeler l'ont été, assurément, bien qu'elles puissent laisser subsister quelques incertitudes de détail et de détermination numérique tout à fait exacte.

Mais ces expériences n'ont établi le fait que *dans un cas restreint*, bien que dans plusieurs circonstances différentes. Il restait à voir s'il se produit encore, et de la même manière, *dans les autres cas* de glissement.

J'ai montré, par la discussion des résultats expérimentaux obtenus par M. Morin, d'une manière si remarquable et si précise, que cela paraissait *probable*. Néanmoins cette déduction ne pouvait tenir lieu de constatations expérimentales *positives*.

D'ailleurs il semblait *présumable*, ainsi que je l'ai fait remarquer dans mon précédent mémoire, d'après les résultats des expériences comparatives de M. Poirée sur le frottement des roues calées et celui des sabots en fer, dans les mêmes circonstances, que la résistance au glissement n'est pas *indépendante* de l'étendue de la surface frottante, ou, ce qui revient au même, n'est pas exactement *proportionnelle* à la pression sous laquelle s'accomplit le glissement, au moins à grande vitesse, et d'autant plus que la vitesse augmente davantage.

C'était encore là, du reste, un fait pressenti et indiqué antérieurement comme devant exister, non pas sans doute avec précision, mais d'une manière vague et un peu contradictoire, d'une personne à une autre, quant au sens de la variation.

Il restait donc à *étudier* ces questions et à les *résoudre* par des observations expérimentales positives

et incontestables. Il convenait aussi de faire des déterminations, non plus seulement approximatives et indiquant seulement le *sens* des variations du frottement, mais exactes et donnant les *valeurs précises* de cette résistance dans les différents cas et circonstances bien nettement définis. Enfin, cela fait, il y avait à examiner et à décider si l'on pouvait représenter par des *formules* acceptables les valeurs ainsi obtenues expérimentalement.

Tel a été le *but* des nouvelles recherches que j'ai entreprises et que, dans mon précédent mémoire, j'avais annoncé l'intention de faire, si je le pouvais.

Circonstances dans lesquelles elles ont pu être faites.

Il ne m'a pas été possible d'embrasser le problème dans toute sa généralité. Néanmoins, j'ai pu l'attaquer et le résoudre, je crois, dans un assez grand nombre de cas et circonstances encore assez variés; à savoir : dans les cas de glissement, à toutes les vitesses comprises entre 0 et 25 mètres par seconde, du fer, à divers degrés de poli, et de différents bois, secs ou verts, ordinaires ou résineux, voire même du cuir et de la gutta-percha, frottant par surfaces de diverses grandeurs; toujours, il est vrai, sur rails en fer, mais sur rails tantôt secs, tantôt mouillés, tantôt simplement humides, plus ou moins, quelquefois même huilés; enfin, sur voie ordinaire et sur voie éclissée.

J'ai pu aussi étudier et résoudre, je pense, dans les diverses circonstances que je viens d'indiquer, la question controversée du frottement *spécial* au départ ou démarrage, question sur laquelle sont émises et ont cours des opinions contradictoires.

J'ai été mis à même d'entreprendre et d'exécuter ce travail, d'abord par l'obligeance de M. le *Directeur* de la compagnie

des chemins de fer de l'Ouest et de ses chefs des services du matériel, du mouvement et de la voie, ainsi que de leurs agents, employés et ouvriers de tout ordre, dont la bonne volonté, l'empressement et le zèle m'ont fourni le champ d'expérimentation, les moyens de traction et toutes les facilités d'opération que je leur ai demandées; ensuite par M. *Didier*, inventeur, et par la compagnie du chemin de fer de Lyon, propriétaire en commun avec l'État, d'un wagon armé de patins qui devait m'être extrêmement précieux pour étudier le frottement, sur les rails, de différentes matières, à surfaces de diverses grandeurs, et qui a été mis complaisamment à ma disposition; ensuite par M. *le général Morin* et par M. *Tresca*, directeur et sous-directeur du Conservatoire des arts et métiers, qui ont bien voulu me prêter, sur ma demande, un fort et excellent dynamomètre qui m'était indispensable pour faire des observations de résistance précises, variées, complètes et concluantes; enfin, et surtout, par l'*administration des Travaux publics* qui, en m'ouvrant les crédits nécessaires, m'a fourni l'indispensable moyen de mettre en œuvre tous les éléments précédents de travail, par le payement de tous les frais de cette mise en œuvre. J'ai d'ailleurs été assisté dans mon travail par plusieurs coopérateurs immédiats (MM. *Didier*, inventeur du wagon à patins-frein que j'ai employé; *Morin*, inspecteur de la compagnie de l'Ouest; *Roulier* et *Martin*, garde-mines; *Dubert*, employé), dont le zèle et l'intelligence m'ont été d'un grand secours.

Un certain nombre de personnes notables ont bien voulu venir, sur mon invitation, voir la manière dont j'exécutais mes expériences, sur le chemin de fer de Saint-Germain, et leurs résultats les plus saillants, que j'ai pu leur mettre immédiatement sous les yeux. D'ailleurs tous les éléments de mon travail sont contenus dans de très-nombreux *diagrammes* et dans des *notes* étendues et détaillées, que j'ai prises pendant mes expériences, sur toutes les circonstances qu'elles ont présentées, notes et diagrammes que je conserve comme *pièces à l'appui* de mon mémoire.

II.

PROCÉDÉ D'INVESTIGATION EXPÉRIMENTALE.

1. Appareils frottants.

Les appareils frottants que j'ai employés ont été :

1° Pour le frottement des roues calées, un wagon ordinaire à frein, dont le poids a varié de 6 à 10 tonnes (son poids exact a été pris chaque fois sur la bascule). Pendant toute la durée de chaque expérience, j'avais soin de vérifier et de noter si les roues étaient bien calées, complétement ou partiellement, ou bien si elles tournaient plus ou moins.

2° Pour le frottement des différentes matières, à surfaces frottantes plus ou moins étendues, un wagon (1) muni de solides armatures fixées invariablement à son châssis, à droite et à gauche, entre les roues et aussi en avant et en arrière de ces roues, armatures qui recevaient, et retenaient par de forts boulons, des patins faits de la matière qu'on voulait et qui pouvaient d'ailleurs être garnis sur leur surface inférieure de semelles en telle substance qu'on désirait. Ces patins, dont j'ai employé un assez grand nombre, faits en différents bois, sans semelles ou avec semelles diverses, étaient établis de la manière indiquée par la *fig.* 1 (Pl. II), avec double pièce milieu, dont l'une à fleur du reste et l'autre saillante, pouvant être placées ou enlevées au marteau, de façon à faire varier à volonté l'étendue de la surface frottante, qu'on pouvait ainsi faire passer par diffé-

---

(1) De l'invention de M. *Didier*, qui le propose pour wagon-frein. Comme tel, ce wagon peut en effet rendre de très-grands et très-utiles services dans l'exploitation des chemins de fer.

rents états de grandeur en plaçant ou enlevant telles ou telles pièces de milieu, à fleur ou saillantes. Le châssis du wagon, portant au-dessus de lui sa caisse et au-dessous ses patins invariablement solidaires, pouvait à volonté, ou bien être tenu soulevé par les ressorts de suspension, de manière que les patins fussent à la hauteur qu'on désirait au-dessus des rails, ou bien pouvait au contraire tomber plus ou moins rapidement, de façon que les surfaces inférieures des patins vinssent poser sur les rails et y presser graduellement de tout le poids du wagon, sauf les roues et essieux, boîtes à graisse et ressorts de suspension, dont les extrémités cessaient de porter le châssis. Dans cette dernière position, le wagon se trouvait transformé en véritable *traîneau*, glissant le long des rails sur ses patins et ne faisant que mener avec lui ses roues, qui continuaient de tourner librement, mais sans charge autre que leur propre poids augmenté seulement de celui de leurs essieux, de leurs boîtes à graisse et des ressorts de suspension. On pouvait, dès qu'on le voulait, reporter le poids du wagon sur l'extrémité de ses ressorts de suspension et le relever de manière à faire abandonner les rails par les patins, aussi bien qu'inversement le laisser retomber, en agissant sur une simple manivelle placée dans la guérite du garde-frein.

Le poids total du wagon à patins a varié de 8 à 9 tonnes (son poids exact a été pris chaque fois sur la bascule). Le poids invariable de ses roues, essieux, boîtes à graisse et ressorts de suspension, pris une fois pour toutes sur la bascule, a été trouvé de 1.830 kilogrammes. Défalcation faite de ce dernier poids, qui ne pressait pas sur les patins, il se trouve que le poids frottant a varié de 6 à 7 tonnes (ce poids frottant était

d'ailleurs très-exactement connu pour chaque expérience, compte tenu de tout ce qui entrait réellement dans sa composition, même des personnes qui étaient dans le wagon).

J'ai fait glisser cet appareil sur les rails par surfaces de cinq grandeurs différentes, que je représente par les nos 1, 2, 3, 6, 9.

La surface 9 est celle de tous les patins garnis de leurs pièces milieu à fleur du reste; elle avait une longueur totale de 6 mètres; par conséquent, elle a porté sur les rails par une superficie de 3 à 4.000 centimètres quarrés, et sa pression spécifique (c'est-à-dire par centimètre quarré) sur les rails a été, en moyenne et toujours à peu près, de 2 kil.

La surface 6 est celle de tous les patins dégarnis des pièces milieu, dont la place restait vide; elle avait une longueur totale de 4 mètres, par conséquent une superficie de 2.600 à 2.000 centimètres quarrés, et sa pression spécifique sur les rails était de 4 kil.

La surface 3 est celle de tous les patins garnis de leurs pièces milieu saillantes qui, dès lors, touchaient seules les rails; elle avait une longueur totale de 2 mètres; superficie, 1.000 à 1.300; pression spécifique, 6.

La surface 2 correspond au cas où les pièces milieu saillantes étaient placées, mais seulement aux patins d'avant et d'arrière, ceux du milieu ne portant alors par aucun point sur les rails; sa longueur totale était de 1m,25; superficie, 700 à 800; pression spécifique, 10.

La surface 1 correspond au cas où les pièces milieu saillantes étaient placées, mais seulement aux patins du milieu, ceux d'avant et d'arrière ne touchant alors les rails par aucun point; sa longueur totale

était de $0^m,80$; superficie, 400 à 500 ; pression spécifique, 15.

Dans toutes les expériences, le wagon frottant était placé, sans rien absolument derrière lui, à la suite immédiate d'un grand fourgon à large section débordant celle du wagon frottant, de manière que l'action de l'air fût à peu près tout à fait nulle sur ce dernier.

Toutes mes expériences ont d'ailleurs été faites sur la ligne de Saint-Germain, depuis l'embranchement de la ligne de Rouen jusqu'au Vésinet, ligne qui est tout entière sensiblement horizontale et droite.

En réalité, cette ligne a, de l'embranchement de Rouen au Vésinet, une pente générale moyenne de 0,0005 ; par places et momentanément, sa déclivité, d'ailleurs tantôt dans un sens tantôt dans l'autre, atteint 0,0015, mais sans jamais dépasser ce chiffre. De plus, la voie, tout à fait droite depuis l'embranchement de Rouen jusqu'à Rueil, se courbe un peu, par moments, de Rueil au Vésinet, mais les courbures qu'elle prend sont toujours très-faibles. Je montrerai plus loin que ces légères déclivités, aussi bien partielles que générales, et ces minimes courbures, sont tout à fait négligeables dans mes expériences.

2. Instrument de mesure de la résistance.

L'instrument que j'ai employé pour mesurer la résistance opposée au mouvement, à chaque instant, par le wagon frottant, était un excellent dynamomètre Morin, du Conservatoire des arts et métiers, à six lames de ressort. Je l'avais fait installer bien solidement dans l'intérieur et au fond du fourgon, de manière que le wagon frottant pût être accroché, directement et sans intermédiaire, sur la barre de traction fixée aux lames de ressort. Un crayon, de position invariable, traçait sur la bande de papier, qui se déroulait lentement, une ligne droite, qui devait être la ligne de terre ou ligne du O d'effort. Un second crayon, mobile avec le ressort, devait marquer d'une manière

continue l'extrémité de la flèche indicatrice de la résistance opposée au mouvement par le wagon frottant. Il fallait seulement, pour que l'indication fût bien exacte, que la position relative des deux crayons fût telle que, pour un effort nul, le crayon mobile traçât exactement la même ligne que le crayon fixe ; c'est ce dont je m'assurais au commencement et dans le courant de chaque journée d'expérience, en laissant, dans ce but, la barre d'attelage tout à fait libre, même de tout accrochage, sans traction, et faisant alors rectifier la position du crayon mobile quand on la trouvait un peu dérangée.

En fait, il ne fallait pas compter absolument sur l'exactitude parfaite de position relative des deux pointes traçantes des crayons, à cela près d'un millimètre. Bien que, la plupart du temps, un pareil écart ne se produisît pas, néanmoins il se produisait quelquefois pendant les expériences, l'appareil dont je disposais ne comportant pas la certitude d'une précision plus grande.

Il me fallait savoir bien exactement quel était le coefficient de tare du dynamomètre.

M. le sous-directeur du Conservatoire me l'avait bien indiqué, mais seulement à titre de coefficient approximatif et sous toute réserve. Il me fallait le connaître tout à fait exactement et avec certitude.

Je l'ai donc déterminé moi-même, avec les précautions les plus minutieuses, en suspendant le dynamomètre et accrochant à sa barre de traction une série successive de poids, d'abord croissants puis décroissants, chacun soigneusement déterminé (1). J'ai reconnu ainsi l'excellence du dynamomètre, dont les flèches, aussi bien en décroissance qu'en croissance, se

(1) Cette opération a été faite dans les ateliers du chemin de

sont montrées parfaitement proportionnelles aux poids dont l'instrument était chargé, et par conséquent aux efforts qu'il supportait; j'ai trouvé son coefficient de tare égal à 66,5 kilogrammes par millimètre de flèche.

3. Moyen de mesure de la vitesse et de la durée des phénomènes.

Le moyen de mesure de la vitesse de translation, à chaque instant, et aussi de la durée de tous les phénomènes qui se traduisaient par la persistance ou par la variation de grandeur de la flèche dynamométrique, était un double pointage exécuté sur deux lignes parallèles, par deux personnes à la fois, au moyen de deux crayons à ressort de position fixe, comme le crayon traceur de la ligne de terre, sur la bande de papier qui se déroulait lentement et recevait déjà le tracé continu de la flèche dynamométrique. Une de ces personnes pointait les secondes, en se réglant pour cela sur une montre à secondes indépendantes. Ce pointage suffisait à lui seul pour la mesure de la durée des phénomènes. La seconde personne pointait les poteaux télégraphiques plantés le long de la voie, au fur et à mesure que, placée dans une position invariable, elle les voyait passer devant une ouverture du fourgon, toujours la même. D'ailleurs cette personne indiquait aussi, par des pointages de formes particulières et convenues, les moments du passage devant ses yeux des ponts et des bâtiments de station, qui servaient ainsi de points de repère sur le papier, et aussi bien les signaux que je lui faisais ou lui faisais faire de temps en temps. Un chaînage de la voie, fait tout exprès, m'a donné les positions précises et les distances rigoureuses, les unes des autres, de

fer du Nord, où mes appareils d'expérimentation ont été transportés quand j'ai eu fini mon travail sur la ligne de Saint-Germain.

tous les poteaux télégraphiques (1) et de tous les ponts et bâtiments de station. J'avais donc ainsi le moyen de reconnaître, après coup, sur les bandes de papier, les positions précises où l'on était en chaque point de diagrammes tracés par le dynanomètre, et les distances exactes parcourues à chaque instant. Comme d'ailleurs les secondes étaient pointées en même temps sur une ligne parallèle, exactement au-dessus, il m'était possible de trouver la vitesse de translation dont le fourgon était animé, à chaque moment et à chaque position. Assurément on pourrait avoir un moyen plus commode, et surtout plus rapide et donnant moins de peine, pour apprécier la vitesse à tout instant; mais on ne peut certainement pas en avoir de plus exact et de plus sûr.

4. Appréciation exacte du frottement.

Un bon dynanomètre, comme celui que j'ai employé, placé comme il l'était, est incontestablement un instrument de mesure très-précieux par sa sensibilité et la constance de valeur de ses indications. Néanmoins il ne faut pas accepter aveuglément et sans discussion tous les renseignements qu'il donne et prendre purement et simplement pour frottements toutes les résistances accusées par ses flèches.

D'abord, si la vitesse de translation du wagon frottant, au lieu de rester parfaitement constante, est en train de croître ou de décroître, il est évident que les indications du dynamomètre sont trop fortes ou trop faibles pour représenter exactement la résistance au mouvement du wagon: trop fortes quand la vitesse croît, de tout l'effort de traction qui se dépense précisé-

(1) Espacés d'ailleurs, en moyenne, de 50 mètres, mais ordinairement un peu plus ou un peu moins, quelquefois même beaucoup.

ment à augmenter la vitesse et qui s'emmagasine graduellement dans le véhicule à l'état de force vive acquise ; trop faible quand la vitesse décroît, précisément de la quantité que la force vive emmagasinée dans le véhicule restitue alors graduellement.

Ainsi donc, pour que les flèches dynamométriques puissent être acceptées, au moins sans correction, pour donner la mesure du frottement, dans l'espèce qui nous occupe, il faut d'abord que la vitesse reste constante.

Mais cela ne suffit pas encore.

Si, la vitesse du wagon frottant demeurant constante, le fourgon porteur du dynamomètre vient à prendre momentanément sur lui de l'avance ou du retard, la flèche croît ou décroît par ce seul fait, sans qu'on puisse mettre cela sur le compte du frottement; et cette circonstance se présente nécessairement assez souvent dans des expériences comme celles que j'ai faites. La locomotive n'exerce pas toujours un effort parfaitement constant, même en marche réglée; mais surtout, quand on veut prendre une vitesse supérieure ou inférieure à celle que l'on a, il faut augmenter ou diminuer l'effort de traction exercé par la locomotive. Cette augmentation ou cette diminution produisaient très-vite leur effet sur le fourgon, qui était d'ordinaire placé immédiatement derrière la locomotive et qui ne présentait pas grande résistance propre. Au contraire, le wagon frottant, qui en présentait toujours plus et ordinairement beaucoup plus, n'obéissait pas aussi vite. De là une variation immédiate dans la vitesse relative des deux véhicules consécutifs, variation qui se traduisait par une perturbation dans la flèche dynamométrique. Cette perturbation n'était pas de longue durée, il est vrai, parce que l'équilibre s'établissait nécessairement assez vite entre la vitesse des deux véhicules; mais elle ne

s'en était pas moins produite et avait donné lieu sur le diagramme à une flèche ou plutôt à une série de flèches anormales par leur surélévation ou leur abaissement, flèches qu'il faut rejeter comme ne donnant pas la mesure du frottement et qu'on reconnaît précisément à ce caractère de surélévation ou d'abaissement extraordinaire et subit.

Il s'est fait encore d'autres fois de ces flèches par une cause inverse. Il est arrivé que des morceaux de patins se soient cassés ou échappés, ou que quelque arrachement extraordinaire se soit produit (tantôt de bois, tantôt de semelles), ou que le wagon frottant ait rencontré sur la voie quelque obstacle anormal. La résistance augmentait alors subitement beaucoup et la flèche dynamométrique traduisait immédiatement cette augmentation, sans qu'on puisse pourtant la mettre sur le compte du frottement. Aussitôt après cette augmentation, et dès que la cause avait cessé, le ressort, trop tendu, se détendait trop, et sa flèche tombait momentanément à une petitesse anormale, qui devait aussi être rejetée.

Les flèches qui n'avaient pas ce caractère de surélévation ou d'abaissement extraordinaire, subit, et non persistant, n'étaient pas pour cela précisément constantes: produites par un ressort, c'est-à-dire par un instrument essentiellement oscillant sous les moindres variations d'influence, agissant lui-même sur un ressort de traction (celui du wagon frottant), et commandé par un autre ressort de traction (celui du fourgon), il est évident qu'elles devaient varier à chaque instant et donner par suite naissance, sur la bande de papier qui se déroulait lentement, au tracé, par le crayon mobile, d'un trait en dents de scie. Quand ces dents de scie étaient peu profondes, ce qui arrivait le plus ordinairement, et lorsque les efforts qui agissaient

sur le dynanomètre étaient d'une intensité assez régulière, il n'y avait pas de difficulté à apprécier la résistance; elle était évidemment donnée par la courbe passant par les milieux des dents de scie. Mais quand ces dents étaient fort longues, ce qui arrivait quelquefois (et devait correspondre, en général, à des efforts saccadés), l'appréciation était beaucoup plus difficile et plus incertaine; il convenait alors de laisser de côté ces parties de diagrammes.

On voit donc que les seules portions de courbes dynamométriques dont il convenait de tenir compte étaient celles qui, sans crochet extraordinaire, subit, et momentané, étaient en petites dents de scie, autant toutefois qu'elles correspondaient à une vitesse qui ne fût pas en voie de croissance ou de décroissance.

Dans ces conditions, la flèche dynamométrique moyenne pouvait-elle bien être considérée comme donnant la mesure du frottement? Oui, sans doute, au moins sensiblement et avec toute l'appproximation qu'on pouvait attendre de l'instrument, des dispositions adoptées et des conditions dans lesquelles on opérait, approximation suffisante, comme je vais l'établir.

Dans les circonstances que je viens d'indiquer, la résistance accusée par la flèche dynamométrique moyenne comprenait, outre le frottement du wagon glissant sur les rails :

1° La résistance exercée par l'air sur le wagon frottant; mais ce wagon étant complétement masqué en avant par le fourgon, à large section débordante, qui le précédait, la résistance de l'air sur lui se réduisait à celle qui s'exerçait sur ses parois latérales et à l'effet d'aspiration produit en arrière. Par conséquent cette résistance, sans être absolument nulle, était fort petite, surtout à petite vitesse, et surtout par rapport à la

résistance du frottement, qui a été en général considérable dans mes expériences. D'ailleurs, sans pouvoir l'apprécier rigoureusement en chiffres, on peut dire, et l'on doit en tenir compte dans la discussion des résultats obtenus, qu'elle a été d'autant plus sensible et moins négligeable que la vitesse était plus grande. J'ajouterai qu'il n'a jamais fait de vent sensible pendant mes expériences.

2° Il y avait, en outre, la résistance, d'ailleurs positive ou négative, provenant de la gravité, par suite de la légère déclivité, tant accidentelle que générale, de la voie sur laquelle j'ai opéré. Mais, à 1 kilogramme par tonne du véhicule et par millième de déclivité de la voie, la résistance, positive ou négative, provenant de la gravité, n'a jamais pu dépasser 15 kilogrammes et n'a même presque jamais atteint la moitié de cette valeur; par conséquent l'effet produit par cette résistance sur la flèche dynamométrique n'a jamais atteint un quart de millimètre et presque jamais un dixième. C'est donc là un effet absolument négligeable.

Il en est de même de l'effet qu'a pu produire, sur certains points seulement de la voie (et de ceux que j'ai parcourus le plus rarement), la légère courbure de cette voie. Cela résulte incontestablement d'expériences positives qui ont été faites par M. Poirée sur l'influence de cette courbure dans la résistance à la traction.

3° Dans le wagon frottant ordinaire, à roues calées, il ne pouvait pas y avoir d'autres résistances supplémentaires. Mais dans le wagon à patins, glissant comme un traîneau, il y avait encore la résistance de rotation des roues. Cette résistance, incapable de produire un millimètre de flèche dynamométrique quand les roues portaient le poids entier du wagon, ne pouvait en produire seulement un cinquième de millimètre quand elles

ne portaient plus que leur propre poids avec celui des essieux, boîtes à graisse et ressorts, soit le cinquième du poids total du wagon.

Je ne parle pas de la résistance latérale provenant du mouvement de lacet, parce que, s'il se produisait du lacet quand le wagon frottant ne glissait pas, mais roulait sur les rails, il cessait absolument de s'en produire dès que ce wagon commençait à glisser.

Ainsi donc, toutes les résistances autres que celles du frottement même étaient bien négligeables à côté de celle-là, dans mes expériences, en se restreignant bien entendu à prendre seulement les parties de courbes dynamométriques que j'ai dites. D'ailleurs la petite influence qu'elles ont pu avoir sur la valeur des flèches ne sortait pas de l'ordre de celle résultant du défaut de précision absolue de l'instrument lui-même et de ses indications, en raison du jeu des crayons dans leurs guides et de l'excentricité qu'avaient quelquefois leurs pointes.

Toutes ces raisons font que, *dans les conditions que j'ai dites*, la flèche dynamométrique pouvait être prise pour mesure de la valeur du frottement, mais seulement à 1 millimètre près de sa valeur totale.

Bien que j'aie toujours commencé par laisser de côté les flèches dynamométriques qui ne remplissaient pas l'ensemble de conditions que j'ai dites, néanmoins ces flèches n'ont pas laissé que de me fournir souvent des indications utiles sur le frottement, et même il est arrivé quelquefois que, pour combler des lacunes t p grandes laissées entre les résultats obtenus par les seules flèches précédentes, j'ai dû prendre en considération certaines flèches correspondant à une vitesse en voie de variation, en leur faisant alors subir une correction indispensable, qui a même été quelquefois considérable.

Voici d'après quel principe et quelle formule j'ai opéré cette correction.

Soient v' et v'' les vitesses, en mètres par seconde, au commencement et à la fin d'une certaine période de course, et p le poids, en kilogrammes, du wagon frottant. La force vive acquise (ou restituée) par le wagon, pendant la période, était, en kilogrammes, égale à

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{p}{g}\left(\overline{v''}^2-\overline{v'}^2\right) \text{ ou sensiblement } \frac{p}{10}\cdot\frac{v''+v'}{2}\cdot(v''-v')$$

Cette acquisition (ou restitution) de force vive correspondait à un travail de traction positif ou négatif. En représentant par l le chemin, en mètres, parcouru pendant la période, on avait

$$\frac{p}{10.l}\cdot\frac{v''+v'}{2}\cdot(v''-v')$$

pour la valeur, en kilogrammes, de l'effort de traction exercé, en moyenne, pendant la période, par le seul fait de la variation de vitesse du wagon frottant. De sorte que la valeur, en millimètres, de la flèche spéciale correspondant à ce fait était de

$$\frac{p}{665.l}\cdot\frac{v''+v'}{2}(v''-v')$$

valeur dont j'avais toujours les éléments de calcul, et qui était positive ou négative suivant que la vitesse était en voie de croissance ou de décroissance; qu'il fallait par conséquent retrancher ou ajouter à la flèche observée, suivant le cas, pour obtenir la véritable flèche donnant la mesure exacte du frottement.

La flèche du frottement étant connue, en millimètres, il n'y avait qu'à la multiplier par 66,5 pour avoir la valeur du frottement en kilogrammes; et pour avoir la valeur de ce qu'il est encore d'usage d'appeler le coefficient du frottement, il n'y avait qu'à diviser le nombre obtenu en dernier lieu par le poids frottant, également exprimé en kilogrammes (ou bien à multiplier la flèche

par le quotient, constant pour chaque journée d'expérience, de 66,5 par le poids frottant, exactement déterminé et connu pour chaque journée).

5. Représentation graphique des résultats expérimentaux.

J'ai déterminé, *avec toutes les précautions que je viens d'indiquer*, la valeur du coefficient de frottement avec la vitesse de glissement correspondante, dans un très-grand nombre de circonstances, qui souvent se sont retrouvées les mêmes, mais qui ont été aussi excessivement variées.

J'ai marqué, sur une grande feuille de papier quadrillé, chacune des valeurs obtenues, par un *point* dont l'ordonnée était le coefficient du frottement, et l'abscisse la vitesse à laquelle il s'était produit. J'ai de plus indiqué auprès de chaque point, par des signes abrégés conventionnels, toutes les circonstances dans lesquelles la valeur avait été obtenue, nature de la matière frottante, son état, longueur de sa surface, état des rails, et même le moment de l'observation, le temps depuis lequel durait le frottement ou le chemin déjà parcouru en glissant.

C'est avec cette représentation graphique *parlante*, sous les yeux, que j'ai tiré mes conclusions.

Avant d'exposer les résultats ainsi constatés, je dois encore donner quelques détails nécessaires sur les procédés expérimentaux que j'ai employés.

6. Marche suivie dans chaque expérience.

Dans chaque expérience, je me mettais en mouvement, tantôt par démarrage en glissement, tantôt sans frottement, pour ne faire commencer le glissement qu'un peu plus tard, quand on avait acquis une certaine vitesse, soit petite, soit moyenne, soit grande. Je faisais ensuite maintenir, aussi exactement que possible, pendant quelque temps, la vitesse initiale, puis passer à une autre, que l'on maintenait aussi, autant

que possible, pendant quelque temps, et ainsi de suite pendant 4 ou 5 kilomètres sans interruption (quelquefois moins, mais quelquefois un peu plus). Je terminais, en général, par un arrêt sous la seule influence du frottement étudié, arrêt que je m'efforcais de faire produire lentement et en mourant, de manière à obtenir exactement la flèche dynamométrique représentative du frottement à une vitesse infiniment petite. Je faisais d'ailleurs quelquefois produire cet arrêt au milieu de l'expérience, afin d'avoir la flèche correspondante après un frottement qui ait duré plus ou moins. En général et dans le même but, je faisais refaire un démarrage.

7. Divers cas de frottement examinés.

J'ai ainsi expérimenté, à toutes vitesses réalisables sur un chemin de fer, avec les cinq longueurs de surface frottante que j'ai indiquées ci-dessus (II, 1), et dans des conditions aussi variées que possible, de façon à ne laisser échapper aucune circonstance pouvant avoir de l'influence sur le frottement :

1° Des roues de wagons, à bandages en fer ;

2° Des semelles en fer placées sous les patins, le fer en étant, soit à surface grossière de fer marchand, soit à surface dressée à la raboteuse, soit à surface polie par le frottement même ;

3° Du bois sec, de vieux chêne, d'orme tortillard, de peuplier blanc ordinaire et de peuplier grisard ou tremble, enfin de sapin (suant la résine, surtout par l'effet du frottement même) ;

4° Du bois vert, d'orme tortillard, de peuplier blanc et de peuplier grisard ;

5° Enfin, des semelles en cuir (frottant sur sa chair) et même en gutta-percha (préalablement comprimée, en fabrication, à la pression qu'elle devait supporter sous le wagon frottant).

J'ai fait frotter ces diverses substances, tantôt sur rails certainement secs, tantôt sur rails secs en apparence, mais, en réalité, un peu humides peut-être, soit à cause de l'état de l'atmosphère, soit parce que, venant d'être mouillés et de sécher, ils n'avaient peut-être pas encore séché complétement; tantôt sur rails mouillés, mais très-peu, quoi qu'ils fussent, à l'œil, sensiblement humides; tantôt sur rails tout à fait mouillés et couverts d'eau, soit par la pluie naturelle, soit par une pluie artificielle que j'y faisais tomber du fourgon au moyen d'une provision d'eau et d'un système de robinets que j'y avais fait installer; tantôt enfin sur rails huilés, par le même procédé, dans lequel l'eau était remplacée par de l'huile.

J'ai fait d'ailleurs des expériences comparatives, dans un assez grand nombre de circonstances diverses comme celles que je viens d'indiquer, sur rails posés sur traverses dans des coussinets et coussinets de joint, à la manière ordinaire, et sur rails éclissés.

8. Conditions des expériences sur le démarrage.

Il me reste, pour compléter cet exposé de mes procédés d'investigation, à donner quelques explications spéciales sur mes expériences de démarrage.

Tout d'abord je n'obtenais avec la locomotive que des démarrages bien évidemment trop vifs, dans lesquels un excès de force était certainement employé. Je suis parvenu à les modérer, et j'ai même quelquefois obtenu des démarrages tout à fait doux, sans aucun excès de force. Mais je ne pouvais les obtenir régulièrement et toujours, la nature même de la locomotive et de son mode de fonctionnement, ainsi que la difficulté de la manœuvrer de manière à atteindre ce résultat, s'y opposant essentiellement. Je suis enfin arrivé à obtenir des démarrages presque toujours très-doux et sans

aucun excès de force de la manière suivante : au fourgon, porteur du dynamomètre, qui tirait directement le wagon frottant à démarrer, la locomotive était attelée au moyen d'un long câble fort, qu'elle tendait jusqu'au point presque nécessaire pour opérer le démarrage; cela fait et sans que la machine donnât plus de vapeur, on agissait à la pince sur ses roues, de manière que, après que deux pinces avaient agi pour faire avancer un peu, et avant qu'elles quittassent pour reprendre ensuite, deux autres pinces maintenaient la locomotive pour l'empêcher de reculer, et ainsi de suite alternativement. De cette façon, le câble était de plus en plus tendu, par petits coups; le dynamomètre se tendait lui-même très-graduellement, et la courbe qu'il traçait sur le papier étant alors de la forme indiquée par la *fig.* 2 (Pl. II), on était sûr, en prenant la flèche au point *a*, d'avoir, sans excès inutile, l'effort qu'avait strictement exigé le démarrage.

Ordinairement, après un démarrage ainsi produit, le wagon s'arrêtait aussitôt; alors on recommençait de suite un autre démarrage de la même manière et même plusieurs consécutifs. On obtenait ainsi une courbe de la forme indiquée par la *fig.* 3 (Pl. II), dont les points *a* donnaient les résistances successives opposées au démarrage, sans aucun excès inutile.

J'ai fait ainsi, pendant une journée entière, un très-grand nombre de démarrages, dans des cas et circonstances extrêmement variés, avec des matières frottantes diverses, à surfaces de grandeurs différentes, et sur rails d'abord secs, puis mouillés, enfin huilés.

Maintenant que j'ai fait connaître mes procédés de recherche et de détermination avec des détails suffisants pour les bien faire apprécier et juger, je puis

passer à l'exposition des résultats auxquels ils m'ont conduit, résultats qui, je l'espère du moins, inspireront toute confiance.

III.

RÉSULTATS CONSTATÉS.

Dans ce chapitre, je me bornerai uniquement à exposer les résultats *constatés* de mes expériences, résultats *positifs* et incontestables, en tant, toutefois, qu'ils seraient trouvés tels, comme je l'espère, en raison des explications que j'ai données dans le chapitre précédent sur les procédés au moyen desquels je les ai obtenus.

Je rejetterai entièrement au chapitre suivant tout essai d'*explication* de ces résultats, de *généralisation* admissible, et d'énoncé des *lois* de frottement qui paraissent en ressortir, toutes choses qui n'ont pas le même caractère de *certitude* et sont sujettes à contestation et à modification.

1. Défaut de constance du frottement dans les mêmes circonstances *pratiquement* appréciables et définissables.

Le premier résultat saillant qui ressorte de mes expériences, c'est que, au moins dans les conditions de ces expériences, mais dans toutes ces conditions, sans exception aucune, le frottement n'a pas présenté une valeur constante, toujours la même, dans un même ensemble de circonstances, au moins *pratiquement* appréciables et de la nature de celles dont j'ai dit avoir tenu compte avee le plus grand soin (II, 5) ; mais bien au contraire a varié entre un maximum et un minimum, d'ailleurs plus ou moins éloignés l'un de l'autre, suivant le cas, prenant toutes les valeurs intermédiaires entre ces deux extrêmes, sans qu'il m'ait paru possible de noter, pour chacune d'elles, une différence positive

et définie dans l'ensemble des circonstances qui l'ont accompagnée.

Ne m'attendant pas à ce résultat, m'attendant au contraire à retrouver et me figurant devoir nécessairement retrouver la même valeur, au moins à peu près, pour le même ensemble de circonstances, j'ai fait tous mes efforts pour dégager cette valeur unique, essayant de toutes les explications pour me rendre compte des écarts, souvent considérables, qui m'apparaissaient. Mais aucune réellement admissible, quand je la discutais sévèrement, n'ayant pu m'en donner raison, force m'a bien été de me rendre à l'évidence. En repassant ensuite tous mes diagrammes à ce point de vue, le fait s'est manifesté à mes yeux avec le caractère de la certitude la plus incontestable, e tout ce qui m'avait d'abord paru bizarre et d'une anomalie inexplicable, à mon premier point de vue, m'est apparu clair et simple.

La *fig.* 4 (Pl. II) donne une idée nette des variations du frottement malgré l'uniformité des circonstances appréciables dans lesquelles il s'est produit. Il est vrai qu'elle représente un des cas où ces variations ont été le plus considérables ; mais, sauf la différence d'amplitude, elle montre bien la nature du phénomène, d'ailleurs général, je le répète.

Le frottement, même dans des circonstances appréciables identiques, ne peut être représenté par une courbe *unique*, mais seulement par une *zone*.

Ce fait étant d'ailleurs bien établi, il en résulte que la série des valeurs du frottement correspondant à un même ensemble de circonstances pratiquement appréciables et définissables, mais en même temps aux différentes valeurs de la vitesse de glissement, n'est pas représentable par une courbe unique, mais seulement par une *zone* comprise entre deux courbes, qui doivent être les courbes enveloppes de tous les points obtenus dans les expériences, aux différentes vitesses, pour un même ensemble de circonstances appréciables (*fig.* 4, Pl. II).

Courbe du frottement *moyen* dans un ensemble de circonstances déterminé.

On peut bien, pour mieux fixer les idées, tracer une courbe unique passant au plus près des points les plus nombreux et les plus condensés au voisinage les uns

des autres (*fig.* 4, Pl. II), courbe qu'on peut alors regarder comme la courbe des valeurs *les plus ordinaires* du frottement dans l'ensemble de circonstances indiqué. Mais il faut bien se garder de donner cette courbe pour autre chose que cela, et surtout de dire que le frottement est celui qu'elle indique et pas autre, attendu qu'il peut l'être quelquefois, sinon le plus souvent. Tout ce qu'on peut dire c'est que cette courbe est celle du frottement *moyen*, dans l'ensemble de circonstances indiqué ; ce qui ne signifie pas d'ailleurs qu'elle occupe une position précisément et complétement moyenne entre les courbes extrêmes (*fig.* 4, Pl. II).

On s'explique ainsi comment les opinions les plus *contradictoires* ont pu être émises sur le frottement. On entend dire par les uns : les coefficients classiques sont trop *forts;* par les autres : ils sont trop *faibles*. L'une et l'autre chose sont vraies quelquefois. Ce qu'il y a de faux, c'est la généralisation des résultats de quelques observations trop restreintes.

Tracé de figures représentatives du frottement dans les diverses circonstances *pratiquement* appréciables et définissables des expériences.

J'ai tracé, d'après le procédé représenté par la *fig.* 4 (Pl. II), et séparément pour chacun des ensembles de circonstances *pratiquement* appréciables et définissables qui se sont produits dans mes expériences, les courbes enveloppes supérieure et inférieure (traits pleins légers) et les courbes moyennes (traits pleins forts) des zones fournies par l'ensemble des points correspondant chacun à une observation faite dans les conditions énoncées ci-dessus (II).

Je donne toutes ces courbes en figures annexées au mémoire (Pl. II, III et IV), avec titres explicatifs des circonstances auxquelles elles se rapportent.

Ces figures présentent, en outre des courbes en traits pleins, des parties en pointillé et d'autres en traits longs interrompus. Il ne sera parlé que plus tard (V) de ce que ces parties représentent. Jusque-là il ne faut prendre en considération que les traits pleins continus qui sont la représentation fidèle des résultats expérimentaux *positifs* que j'ai obtenus.

Dans quelques cas, où je n'ai pas eu assez de points pour déterminer une courbe certaine et acceptable, je me suis abstenu de la tracer. D'autres fois je n'en ai donné qu'un tronçon ressortant seul de mes résultats expérimentaux. Cela ne m'a pas empêché de donner, dans plusieurs circonstances, quelques observations qui, pour avoir été isolées, n'en présentent pas moins un certain intérêt (elles sont représentées par un simple point entouré d'un petit cercle).

2. Variation du frottement avec la *vitesse* de glissement ; sa diminution à mesure que cette vitesse augmente.

Le premier coup d'œil jeté sur les figures dont je viens de parler fait reconnaître que, au moins dans les conditions de mes expériences, le frottement a toujours varié avec la *vitesse* de glissement, qu'il a toujours *diminué* à mesure que la vitesse *augmentait*. Sa diminution a d'ailleurs été plus ou moins rapide suivant le cas, mais toujours sensible, et souvent très-grande, au moins à petite vitesse, devenant beaucoup moins marquée et souvent même à peine prononcée à grande vitesse.

Les résultats obtenus sur rails huilés ont seuls paru, au premier abord, faire exception à la généralité du phénomène ; mais, en les discutant, je montrerai bientôt que l'exception n'est pas réelle.

Sans doute on peut être dans la vérité, précisément en raison du phénomène que j'ai signalé dans le paragraphe précédent, en disant que le frottement peut être le même à une vitesse qu'à une autre, toutes choses égales d'ailleurs, et même qu'il peut être plus grand à une vitesse plus grande qu'à une vitesse moindre (1). Mais cela n'empêche pas qu'en dehors de ces ano-

(1) Et c'est peut-être là ce qui, avec la raison que j'en ai déjà donnée dans mon précédent mémoire (raison fondée sur l'in-

malies *de détail*, qui s'expliquent par le défaut de constance du frottement dans les mêmes circonstances pratiquement appréciables, le fait de la diminution du frottement, à mesure que la vitesse augmente, ne ressorte de la manière la plus prononcée de l'ensemble de mes observations, qui sont en très-grand nombre, comme fait général et constant, sauf perturbations de détail, accidentelles et momentanées, qui s'expliquent d'ailleurs.

3. Influence de l'*étendue* de la surface frottante et conséquemment de la pression *spécifique*.

L'*étendue* plus ou moins grande de la surface frottante, la pression totale restant la même et la pression *spécifique* (c'est-à-dire par élément superficiel) variant seule par conséquent (en raison inverse de la superficie frottante), toutes autres choses étant égales d'ailleurs, n'a pas eu d'influence bien sensible, la plupart du temps, dans mes expériences, pas plus qu'elle n'en avait eu dans les expériences antérieures.

Pourtant elle en a eu quelquefois, et il est très-important de bien préciser les circonstances et la mesure dans lesquelles cette influence s'est manifestée.

Tant que la superficie frottante a été relativement *grande*, et par conséquent la pression spécifique *faible*, leur variation n'a eu d'influence sensible, sur la valeur du frottement, que dans le cas des bois frottant sur rails secs, c'est-à-dire dans le cas des plus grands frottements; et encore cette influence a-t-elle été faible, surtout à petite vitesse, devenant tout à fait insensible à vitesse extrêmement petite; ce n'est qu'à grande vitesse qu'elle s'est bien prononcée, sans pourtant y devenir considérable : alors il y a eu *diminution* évidente du coefficient de frottement à mesure que l'étendue de

fluence de la résistance de l'air), a empêché la loi de variation avec la vitesse de commencer à ressortir des expériences de M. Morin.

la surface frottante diminuait, par conséquent à mesure que la pression *spécifique* augmentait.

Dans les autres cas de frottement, de bois sur rails mouillés, de fer sur toute espèce de rails, frottements beaucoup moins énergiques que ceux des bois sur rails secs, l'influence de l'étendue de la surface frottante et de l'énergie plus ou moins grande de la pression spécifique n'a pas été sensible, pas plus à grande vitesse qu'à petite vitesse, toujours, bien entendu, tant que la surface frottante a été relativement grande et par conséquent la pression spécifique faible.

Mais quand, des grandes surfaces frottantes et des faibles pressions, on passe à de *plus petites* surfaces frottantes et à de *plus fortes* pressions spécifiques, alors l'influence de leur variation commence à se faire sentir dans tous les cas, même à vitesse infiniment petite, et pour le fer comme pour le bois; seulement, dans le glissement du fer, la diminution du frottement n'est devenue sensible que pour une plus grande diminution d'étendue de la surface frottante, et par conséquent pour une plus grande augmentation de la pression spécifique, que dans le glissement du bois.

Enfin quand on arrive aux *très-petites* surfaces frottantes et aux *très-fortes* pressions spécifiques (cas des roues calées et des patins courbes), la variation du frottement se manifeste encore dans tous les cas, mais alors c'est en *sens inverse;* le frottement a *augmenté* à mesure que la superficie frottante a diminué, et que par conséquent la pression *spécifique* a augmenté.

Le coefficient du frottement, dans sa variation avec l'étendue de la surface frottante et l'énergie de la pression spécifique, a donc eu un *minimum* correspondant à une certaine étendue (petite) de la surface frottante et à une certaine valeur (grande) de la pression spéci-

fique, et cela dans tous les cas; seulement la valeur de la pression spécifique, à laquelle correspond ce minimum du coefficient de frottement, et l'abaissement relatif de ce minimum ont varié suivant le cas : ainsi la pression spécifique en question paraît avoir été moindre, et l'abaissement relatif du minimum de frottement avoir été au contraire plus grand, pour le bois (à sec) que pour le fer.

Du reste la variation du coefficient de frottement avec l'étendue de la surface frottante et l'énergie de la pression spécifique, quand cette variation se produit, n'a lieu que par déplacement plus ou moins prononcé des limites supérieures et inférieures, et des courbes moyennes, des zones de frottement; mais les zones correspondant aux différentes valeurs de la superficie frottante et de la pression spécifique n'en restent pas moins superposées et confondues en très-grande partie : de sorte que, si l'on se bornait à conclure sur les résultats d'un petit nombre seulement d'observations, on pourrait tirer les conclusions les plus inexactes et les plus contradictoires; et c'est ainsi, bien certainement, qu'on est arrivé de différents côtés à de telles conclusions sur l'influence de l'étendue de la surface frottante et de l'énergie de la pression spécifique.

Le mode d'influence des très-petites surfaces frottantes (ou plutôt, sans doute, des très-fortes pressions spécifiques) s'est manifesté dans les circonstances et de la manière suivantes :

Quand je faisais glisser le wagon à roues calées, pendant les premiers moments qui suivaient immédiatement le calage, le frottement était presque toujours notablement plus énergique qu'avec les patins de fer; mais il diminuait ensuite graduellement et assez rapidement, et au bout d'un temps et après un chemin parcouru qui étaient variables, mais qui n'excédaient jamais 30 secondes et 300 mètres, le frottement était descendu dans une zone de valeurs, où il se maintenait

ensuite, et qui se confondait avec celle du frottement des patins en fer à un état superficiel comparable à celui des bandages de roues (III, 5, 1°). Il y avait néanmoins une certaine différence entre ce frottement final des roues calées et celui des patins en fer; elle existait dans la position relative des courbes *moyennes* du frottement dans les deux cas; pour les roues calées, cette courbe moyenne tombait un peu au-dessous de celle correspondant aux patins, surtout à petite vitesse.

Si les roues, au lieu d'être tout à fait calées, tournaient très-lentement, le frottement se maintenait indéfiniment avec une valeur à très-peu près égale à celle du frottement des roues au début de leur calage. Si les roues tournaient un peu plus vite, et plus elles tournaient vite, le frottement diminuait, descendait dans la zone du frottement définitif des roues calées, puis descendait encore au-dessous de cette zone et finissait par tomber à presque rien quand les roues en arrivaient à tourner presque aussi vite que si elles étaient tout à fait libres.

Or, pendant le glissement des roues calées, il est évident que la surface frottante, d'abord très-petite en général (à moins que la roue, au lieu de se caler sur une partie ronde, se calât sur un méplat antérieurement formé), augmente graduellement, par formation et allongement du méplat, jusqu'à une certaine limite au delà de laquelle le méplat ne s'allonge plus, au moins par une progression rapide, comme il le fait au début.

Au moment où la roue se calait sur une partie ronde, on pouvait estimer la longueur de sa surface de contact sur le rail à 1 centimètre environ (en raison de l'élasticité du bandage et du rail), et par conséquent à 5 centimètres carrés la superficie de ce contact, soit 20 centimètres carrés pour les quatre roues; la pression spéci-

fique a donc été alors, dans mes expériences (II, 1), comprise entre 300 et 500 kil. par centimètre carré. Quand le méplat était arrivé, au bout de 10 à 30 secondes et de 100 à 300 mètres de glissement, à son maximum d'allongement rapide, il pouvait avoir alors à peu près 4 centimètres de longueur, en moyenne, ce qui faisait, pour les quatre roues réunies, une superficie frottante d'environ 80 centimètres carrés ; de sorte que la pression spécifique était alors de 75 à 125 kil. par centimètre carré, soit de 100 en moyenne.

Quand les roues, au lieu d'être tout à fait calées, tournaient avec une lenteur relative plus ou moins grande, il ne se produisait plus de méplat, bien que les roues s'usassent toujours beaucoup, mais tout autour du bandage, qui restait rond ; de sorte que la superficie de contact avec les rails restait toujours très-petite, par conséquent la pression spécifique très-grande. Il était donc naturel que le coefficient du frottement conservât alors ses valeurs maxima, de l'ordre de celles correspondant au début du calage. Seulement comme le travail résistant accompli par le frottement, pour un même chemin parcouru en translation, était d'autant moindre que la rotation relative des roues était moins lente, et comme il finissait par s'annuler tout à fait quand la rotation des roues n'était plus du tout ralentie, on s'explique aisément les résultats obtenus dans ces circonstances.

J'ai observé, avec le bois taillé en patins courbes, de la forme des roues, un phénomène analogue à celui que m'ont constamment présenté les roues calées. Son frottement, tout à fait au début du glissement, a été plus fort qu'un moment après, et il a diminué de plus en plus, et en très-peu de temps, au fur et à mesure que le glissement se prolongeait, bien que la vitesse restât toute petite. Par exemple, les patins courbes en bois se sont très-rapidement usés et ont pris très-vite un long méplat. Au début, leur superficie de contact

avec les rails pouvait être estimée à 50 centimètres carrés, par conséquent leur pression spécifique à 140 kil. ; au bout de très-peu de temps, leur superficie de contact était devenue de 200 centimètres carrés et par conséquent leur pression spécifique était descendue à 35 kil. A ces valeurs de la superficie frottante et de la pression spécifique, le coefficient de frottement du bois a toujours été moindre qu'avec les patins plats, plus ou moins longs, bien qu'il se relevât encore, comme dans le cas du fer, au fur et à mesure que la superficie frottante était plus petite, à partir de 200 centimètres carrés, et que par conséquent la pression spécifique était plus grande, à partir de 35 kil.

4. Influence de l'*état* des rails. 1° Sur le frottement du bois. a. *Rails secs ou mouillés.*

L'*état* des rails a eu beaucoup d'influence sur le frottement du *bois*.

Sur rails *secs*, ce frottement s'est toujours montré considérable.

Sur rails *mouillés*, au contraire (et il faut entendre ici par rails mouillés des rails tout à fait couverts d'une couche d'eau), il a été beaucoup moindre.

Il faut d'ailleurs distinguer deux périodes dans le frottement du bois sur rails mouillés.

Au début du glissement du bois sur de pareils rails, à quelque vitesse que ce soit d'ailleurs, son frottement a été bien plus faible, sans doute, que sur rails secs, mais moins qu'il ne l'est devenu plus tard. Au fur et à mesure que le glissement s'est prolongé, le frottement a diminué graduellement (non sans osciller, toutefois) ; et au bout d'un temps variable (ordinairement entre 30 et 60 secondes ; quelquefois plus court, mais rarement ; quelquefois un peu plus long, mais plus rarement encore), et après un glissement sur une longueur qui a varié ordinairement de 100 à 1.000 mè-

tres, le frottement du bois sur rails mouillés est tombé, pour n'en plus sortir, dans sa zone définitive, qui a toujours été notablement plus basse qu'au début du glissement.

Ce phénomène, qui ne s'était pas manifesté dans le glissement du bois sur rails secs, s'est manifesté, au contraire, d'une manière plus ou moins prononcée d'ailleurs, dans tous les glissements de bois sur rails mouillés; et je n'ai jamais pu observer, en cette occurrence, qu'une seule circonstance particulière, qui est la suivante :

Après un long glissement de bois sur rails couverts d'eau, la surface frottante était enduite d'un cambouis aqueux et noir, tandis qu'elle n'était que mouillée, sans qu'on y remarquât la présence de ce cambouis, après un glissement peu prolongé.

On ne voyait non plus rien de particulier sur la surface frottante du bois après son glissement, court ou prolongé, sur rails secs.

Pas plus sur rails secs que sur rails mouillés, la surface frottante du bois n'était d'ailleurs altérée chimiquement aussi bien après un long glissement qu'après un glissement très-court.

Pendant le glissement, on voyait bien s'échapper un peu de fumée de dessous les patins, plus ou moins d'ailleurs, et surtout sur rails secs; et à la fin du glissement, même après qu'il avait eu lieu pendant 5 kilomètres consécutifs, sans interruption, le bois était un peu chaud, surtout quand il avait glissé sur rails secs, mais jamais au point de n'y pouvoir tenir la main, même en dessous, sur la surface frottante elle-même. Néanmoins cette surface ne présentait que de légères écailles noires, plutôt salies que carbonisées, et ne recouvrant même pas toute son étendue; mais à la distance de l'épaisseur d'une feuille de papier mince, le bois était complétement sain et intact. Il ne manifestait absolument que de l'usure physique, plus ou moins considérable, sous forme de gorge qui s'était

formée au milieu du patin, ses bords ne frottant pas, et par conséquent ne s'usant pas, pendant que le milieu s'usait.

b. *Rails humides.*

Beaucoup de mes expériences ont eu lieu sur rails qui, sans être bien secs, d'une manière certaine, n'étaient pourtant pas non plus couverts d'une couche d'eau positive, mais se trouvaient dans un état intermédiaire, soit que le temps fût couvert et humide, soit que les rails, après avoir été mouillés, vinssent seulement de sécher, soit enfin qu'ils conservassent encore l'apparence de l'humidité, mais sans plus porter ce qu'on peut appeler une couche d'eau, ou bien qu'ils fussent simplement mouchetés de minces goutfelettes de pluies séparées les unes des autres.

Dans ces conditions, toutes les fois que les rails ne portaient pas l'apparence positive de la présence de plus au moins d'eau sur leur surface, mais, au contraire, semblaient secs à la vue, fussent-ils même doux au toucher, ils ne modifiaient pas bien sensiblement le frottement du bois, qui restait, au moins à très-peu près, le même que sur rails certainement secs.

Au contraire, quand les rails apparaissaient plus ou moins humides à l'œil, le frottement y était intermédiaire à ce qu'il était sur rails secs et sur rails mouillés. Il se rapprochait surtout de sa valeur sur rails mouillés quand le bois était humidifié pour avoir frotté antérieurement sur rails mouillés.

c. *Rails huilés.*

J'ai fait aussi quelques expériences, bien qu'en petit nombre, il est vrai, avec du bois sur rails couverts d'*huile*. Dans ces expériences, au nombre de quatre seulement (1), les choses se sont invariablement passées de la manière suivante :

(1) Je n'ai pu faire d'expériences sur rails huilés que tout à

Tout à fait au début (deux fois à vitesse moyenne, une fois à petite vitesse, et une autre fois à toute petite vitesse), le frottement a été faible, de l'ordre pourtant du frottement du bois sur rails mouillés, non pas au début du glissement sur pareils rails, mais pendant sa seconde période (période d'existence du cambouis aqueux). De suite après, il s'est élevé graduellement, sans pourtant que la vitesse de glissement se modifiât notablement, et cela pendant une durée de temps qui a varié de 10 à 20 secondes, mais sans sortir toutefois de l'ordre du frottement du bois sur rails mouillés pendant la période d'existence du cambouis aqueux.

Au bout de 10 à 20 secondes, le frottement a diminué et oscillé entre les valeurs extrêmes qu'il venait de prendre pendant les 10 à 20 premières secondes, quelquefois même avec un peu plus d'amplitude, surtout en dessous; cela a duré de 30 à 90 secondes.

Ensuite le frottement a encore diminué, non pas d'une manière continue, mais par oscillations, et cela de plus en plus, quoique peu, et quoique la vitesse ait été en diminuant graduellement jusqu'à 0 (ce qui constitue en partie l'anomalie apparente dont j'ai parlé plus haut (III, 2) à la loi générale de variation du frottement avec la vitesse).

J'ai remarqué alors sous les patins, après les avoir

---

fait exceptionnellement et d'une manière très-restreinte, parce que j'ai dû m'abstenir absolument d'huiler les rails dans les stations et à leurs abords, à la distance de 1 kilomètre de part et d'autre, et même ne les huiler que le plus rarement possible dans les intervalles des stations, en raison de la difficulté d'arrêt que ce huilage aurait créée aux trains du service de la ligne, s'ils étaient venus à se trouver dans la nécessité de maîtriser promptement leur vitesse.

fait enlever, un cambouis gras noir, analogue à celui qui se produisait toujours après glissement du bois sur rails couverts d'eau. J'ai observé de plus que la surface frottante du bois avait pris plus de poli que dans aucun autre cas.

2° Sur le frottement du fer.

a. *Rails plus ou moins secs ou humides.*

L'*état* de sécheresse ou d'humidité plus ou moins grande des rails n'a pas eu d'influence sensible sur le frottement du *fer*, pas plus des roues, au début de leur glissement, comme plus tard, que des patins à surfaces de diverses grandeurs.

Ce résultat surprendra certainement et m'a fort surpris tout le premier, car je m'attendais à tout autre chose. Néanmoins il est incontestable et force m'est bien de l'admettre.

Je puis d'ailleurs expliquer facilement aujourd'hui les faits qui paraissaient établir le contraire; et le phénomène, maintenant bien constaté, que je viens d'énoncer, donne l'explication d'autres faits qui paraissaient en contradiction avec l'opinion de la diminution du frottement du fer, ou au moins des roues, sur rails mouillés.

Ainsi tous les mécaniciens de chemins de fer et toutes les personnes qui ont beaucoup voyagé sur les locomotives disent que ces machines ne patinent pas plus, et même patinent quelquefois moins, sur rails bien mouillés et lavés par la pluie que sur rails secs, et que c'est seulement sur rails gras que le patinage est plus fort. Je m'explique aujourd'hui tout naturellement ce fait, que je ne pouvais comprendre avec l'idée que le frottement des roues sur les rails était plus faible sur rails mouillés que sur rails secs.

Quant aux faits qui paraissaient établir cette dernière opinion, outre la circonstance bien connue de la plus grande difficulté d'arrêt des convois par les freins sur rails mouillés que sur rails secs, toutes choses égales d'ailleurs, il y avait encore les résultats des opérations expérimentales de M. Poirée et des miennes propres, relatées dans mon précédent mémoire.

Je commence par ces derniers.

L'erreur dans laquelle nous avons été induits, M. Poirée et moi, provient de deux causes. La première, c'est le trop petit

nombre d'observations sur lesquelles nous avons cru pouvoir conclure. La seconde, qui nous avait précisément donné cette confiance de conclusion, c'était la pensée que le frottement devait se retrouver identique dans des circonstances identiques appréciables, et l'ignorance du fait de sa variation dans ces circonstances et de l'existence des zones de frottement au lieu de courbes uniques. Avec la connaissance de cette loi, au contraire — que mes dernières expériences ont seules établie, ce qu'elles n'ont pu faire d'ailleurs que par leur grand nombre — et en considérant le petit nombre d'observations sur lesquelles nous nous croyions alors autorisés à conclure, tout s'explique, et nos observations antérieures ne sont pas en discordance avec mes dernières ; elles rentrent au contraire tout à fait dans leur cadre : il n'y a de changé que l'explication à en donner et la conséquence à en déduire.

Reste enfin le fait bien connu de la plus grande difficulté d'arrêt des convois par les freins sur rails mouillés que sur rails secs, toutes choses égales d'ailleurs. Ce fait est constant et semble tout d'abord conduire à cette conclusion, que le frottement des roues est moins énergique sur rails mouillés que sur rails secs. Mais j'ai reconnu une chose, dans les observations attentives et minutieuses que j'ai faites pendant mes dernières expériences : c'est que le calage des roues par le frein *ordinaire*, s'il n'est pas toujours facile sur rails secs, devient très-difficile sur rails mouillés, le plus souvent même impossible par les efforts d'un homme, et qu'en pratique il n'est pour ainsi dire jamais obtenu, qu'il s'en faut même de beaucoup, et que les roues, après l'action des garde-freins, telle qu'ils l'exercent en réalité, tournent encore assez vite quand les rails sont mouillés. Et l'on va maintenant comprendre facilement pourquoi. Le calage des roues, par l'action du frein, ne peut se produire qu'autant que le frottement du sabot du frein sur le bandage de la roue devient supérieur au frottement que la roue aurait à exercer sur le rail au moment où elle se calerait. Or les sabots de frein sont faits en *bois*. Quand il fait sec, leur frottement sur la roue est un frottement de bois sur fer, *à sec* ; son coefficient est dès lors considérable. Quand, au contraire, les rails sont mouillés, les bandages des roues le sont aussi, ne fût-ce que par suite de leur roulement sur les rails. Le frottement des sabots du frein contre ces bandages devient donc un frottement de bois sur fer *mouillé*,

dont le coefficient est bien moins considérable, tandis que celui du frottement de la *roue* sur le rail *n'a pas changé*. De là bien plus grande difficulté du calage de la roue quand les rails sont mouillés, et nécessité d'un plus grand effort du garde-frein, qui ne peut arriver à caler les roues qu'en suppléant à l'abaissement du coefficient de frottement des sabots sur les bandages par l'augmentation de la pression de ces sabots sur ces bandages. Cet excès d'effort à exercer, souvent plus grand que ce que peuvent faire les garde-freins, ils ne le font pas, en pratique, et par suite ne calent pas les roues. Si encore ils les calaient toujours *à peu près*, le résultat serait à peu près le même, et serait même supérieur au bout de quelques instants à cause de l'abaissement graduel du frottement de la roue calée. Mais il s'en faut ordinairement de *beaucoup*. Dès lors les roues continuent de tourner encore *assez vite* quoique à vitesse un peu ralentie, et le frottement sur les rails, ou plus exactement le travail accompli par ce frottement, est relativement très-faible. De là, et de là seulement, la difficulté et la longueur de l'arrêt des convois sur rails mouillés, incontestablement plus grandes, en pratique, que sur rails secs. Qu'on regarde, pendant la production des arrêts sur rails mouillés, les roues à frein *ordinaire* des convois de chemins de fer, et l'on reconnaîtra qu'elles continuent de tourner assez vite malgré l'action des garde-freins. Avec des appareils calant certainement les roues très-vite, en toutes circonstances, comme on en fait depuis quelque temps, l'arrêt des convois sur rails mouillés ne doit certainement pas être plus difficile ni plus long que sur rails secs.

b. *Rails déjà frottés plusieurs fois.*

Dès que les rails avaient été frottés plusieurs fois et surtout quand ils l'avaient été un grand nombre de fois, comme à la fin de mes journées d'expériences, le frottement du fer, surtout des roues, y diminuait sensiblement, non par sa limite supérieure, mais par sa limite inférieure et par sa courbe moyenne, surtout à petite vitesse.

Rien de pareil ne s'est manifesté dans le frottement du bois.

c. *Rails huilés.*

Dans une expérience sur rails *huilés*, le frottement

du fer, en patins, a commencé par être, au début, tout à fait de même ordre et situé dans la même zone que le frottement du même fer sur rails plus ou moins secs ou humides. Mais, au fur et à mesure que le glissement s'est prolongé, une diminution graduelle s'est produite (non sans oscillations toutefois) dans la valeur du frottement, bien que la vitesse soit descendue peu à peu jusqu'à o (absolument comme il est arrivé pour le bois sur rails huilés). La valeur du frottement à une vitesse infiniment petite a même diminué encore, et de plus en plus, à la suite de deux reprises de mouvement qui ont été faites après le premier arrêt (c'est le second cas, faisant suite au premier que j'ai cité tout à l'heure (frottement du bois sur rails huilés), de cette anomalie apparente, dont j'ai parlé plus haut (III, 2), à la loi générale de variation du frottement avec la vitesse).

Dans une seconde expérience de frottement de fer sur rails huilés, expérience de glissement des roues, cette fois, le frottement a encore été en diminuant de la même manière et dans les mêmes circonstances; seulement, il a été beaucoup plus faible, même au début (tant avec rotation lente des roues qu'après leur calage complet), que n'avait été le frottement des patins sur rails huilés de même, et que n'avait jamais été le frottement des roues sur rails plus ou moins secs ou humides.

Dans l'une comme dans l'autre expérience de frottement du fer sur rails huilés, à la fin du glissement, la surface frottante du fer, tant des patins que des roues (alors méplatisées), avait pris un très-beau poli, qu'elle n'avait pas au commencement (1).

(1) Mes expériences de fer sur rails huilés ont encore été, sans doute, fort restreintes; mais je n'ai pu les multiplier pour la même raison que je viens de donner dans la note précédente.

5. Influence de la *matière* frottante.

1° Fer, à différents degrés de poli.

Le fer que j'ai fait glisser, en patins, a été d'abord à surface grossière, puis à surface dressée à la raboteuse, enfin à surface plus ou moins polie par le frottement même.

Plus le fer était poli, plus son frottement a été faible. C'est surtout à petite vitesse que la différence s'est montrée plus prononcée; alors la zone de frottement du fer se relevait d'autant plus, pour les vitesses se rapprochant davantage de o, que le fer était plus rugueux; et, pour le fer à surface tout à fait grossière, elle s'est relevée d'une manière extraordinaire.

La seule observation que j'aie pu faire sur les circonstances qui ont accompagné ces phénomènes, c'est que la surface grossière n'a jamais frotté que sur un certain nombre, d'ailleurs assez grand, de points, qui seuls ont usé et sont devenus polis et brillants; tandis que les surfaces dressées et surtout polies ont frotté et usé sur toute leur étendue. D'ailleurs le fer, pendant son glissement, surtout quand il était à surface grossière, mais beaucoup encore, quoique moins, avec les surfaces dressées et polies, s'échauffait énormément, au point de faire fumer les rails quand ils étaient humides, et toujours abondamment le bois sur lequel était posé le fer (en semelles), en le carbonisant profondément. A la fin du glissement, le fer était brûlant, et il était impossible d'y tenir la main; on ne pouvait que le toucher légèrement et éloigner aussitôt le doigt.

2° Bois.

a. Comparativement au fer.

a'. *Sur rails secs.*

Le frottement du bois, sur rails secs ou sensiblement secs, a été presque toujours bien plus considérable que celui du fer, surtout en vitesse, et par les

limites supérieures de ses zones, ainsi que par ses courbes moyennes.

Les limites inférieures du frottement des bois sur rails secs se sont approchées de la limite supérieure du fer et ont même quelquefois empiété sur sa zone, particulièrement, à très-petite vitesse, sur la zone de frottement du fer à surface grossière, zone qui, par son relèvement extraordinaire, a fini par se rapprocher beaucoup, à très-petite vitesse, des valeurs, même les plus hautes, des frottements des bois sur rails secs.

Mais, sauf dans ce cas tout particulier d'état de sa surface, le fer a toujours fait un frottement beaucoup moindre que le bois sur rails secs.

a''. Sur rails mouillés. Le frottement du bois sur rails mouillés a été, pendant la première minute de son glissement, à peu près (et sauf des différences de détail dans la disposition relative des limites supérieures des zones) de l'ordre du frottement du fer sous pression spécifique modérée.

Mais, après la première minute de glissement (pendant la période d'existence du cambouis), la zone de frottement du bois sur rails mouillés est descendue plus bas que celle du fer, surtout par sa limite inférieure, qui est descendue très-bas, et par sa courbe moyenne. C'est principalement à petite vitesse que cet abaissement relatif a été considérable, les zones de frottement du fer, dans ce cas, se relevant beaucoup (surtout quand le fer est à surface grossière), tandis que celle du frottement des bois sur rails mouillés, pendant la période d'existence du cambouis, se relève à peine à mesure que la vitesse diminue.

a'''. Sur rails huilés, Le frottement du bois sur rails huilés a été un peu plus faible que celui du fer (à surface dressée ou à moitié polie) sur rails semblables, toutes choses étant égales

d'ailleurs et particulièrement l'étendue de la surface frottante et par suite la pression spécifique.

Dans l'un comme dans l'autre cas, d'ailleurs, l'étendue de la surface frottante et, conséquemment, la pression spécifique, paraît (autant qu'on peut conclure d'expériences aussi restreintes que celles que j'ai dû me borner à faire sur rails huilés (1)) avoir eu beaucoup d'influence sur la valeur du frottement, qui semble avoir toujours diminué à mesure que la superficie frottante a diminué (même jusqu'aux très-petites valeurs); et par conséquent à mesure que la pression spécifique a augmenté (même jusqu'aux très-grandes valeurs).

Dans l'un comme dans l'autre cas aussi, le frottement a toujours diminué, après les premiers moments passés, à mesure que le glissement durait depuis plus longtemps, et que le poli se produisait de plus en plus.

Mais, je le répète, dans cette marche pour ainsi dire parallèle du phénomène dans les deux cas, le frottement, dans le cas du bois, a toujours été un peu plus faible que dans le cas du fer, toutes choses étant égales d'ailleurs.

b. Bois comparativement les uns aux autres.

b'. Bois secs et bois encore verts. J'ai essayé comparativement différentes espèces de bois, à l'état de bois secs (coupés depuis très-longtemps) et de bois encore verts (coupés depuis quelques mois seulement, et que j'ai même fait, quelquefois, tremper dans l'eau pendant plusieurs jours et retirer seulement la veille de l'expérience) (2).

(1) Pour les raisons que j'ai données dans les deux notes précédentes.

(2) Conformément à l'habitude que l'on a dans certaines compagnies, et notamment dans celle de l'Ouest, pour les sabots de frein avant de les mettre en place.

Je n'ai trouvé aucune différence dans le frottement de ces bois, pour la même essence (1).

b''. *Bois d'essences différentes.*

Quant au frottement de ces bois, d'une essence à une autre, toutes choses égales d'ailleurs, il varie peu, en général ; néanmoins il varie sensiblement, et voici de quelle manière :

Sur rails secs, les bois qui ont donné lieu au frottement le plus énergique ont été les bois tendres, dans l'ordre suivant :

1° Peuplier proprement dit, ou peuplier ordinaire (blanc) ;

2° Peuplier dit grisard ou tremble ;

3° Sapin.

Le bois qui, au contraire, a donné lieu au frottement le moins énergique a été le bois de chêne.

Entre ce dernier et les précédents s'est placé l'orme (tortillard).

Mais il ne faudrait pas croire qu'entre ces différents bois il y ait eu beaucoup de différence : elle a été au contraire assez peu considérable, en somme, même entre ceux dont le frottement s'est montré le plus différent (peuplier blanc et chêne). Elle ne s'est d'ailleurs manifestée que dans les limites supérieures des zones et dans les courbes moyennes : elle a été à peu près insensible aux limites inférieures des zones.

Sur rails mouillés,

Pendant la première minute de glissement, le bois qui a donné lieu au frottement le plus énergique a été le bois de sapin. Entre les autres il ne m'est guère possible de faire de distinction.

(1) Il n'y a qu'au démarrage (dont je parlerai un peu plus loin) qu'il se manifeste une différence de l'un à l'autre.

Après la première minute de glissement, pendant la période d'existence du cambouis aqueux, les zones de frottement de tous les bois se sont confondues.

Je n'ai pas fait d'expériences comparatives d'un bois à l'autre sur rails huilés.

Enfin je ne dois pas oublier de dire que tous mes glissements de bois ont eu lieu sur fil, c'est à-dire sur la longueur des fibres du bois, placées parallèlement aux rails (1).

Tous les bois ont glissé uniquement sur *fil*.

c. Influence *nulle*, ou du moins tout à fait négligeable, du mode de *pose* de la voie.

La voie sur laquelle j'ai opéré était formée de rails de 6 centimètres de largeur et de 6 mètres de longueur, posés sur traverses, avec coussinets et coussinets de joints ordinaires, espacés, depuis le joint jusqu'au milieu du rail, de $0^m.75$, $1^m.05$, $1^m.20$. Mais dans le bois du Vésinet, sur deux kilomètres de longueur, elle était posée avec éclisses aux joints, sur traverses espacées, depuis ce joint jusqu'au milieu du rail, de $0^m.90$, $1^m.00$, $1^m.10$.

Sur la voie ordinaire, quoiqu'elle fût bien posée et bien entretenue, les rails faisaient quelquefois, aux joints, un peu de saillie l'un sur l'autre. Il en résultait, lors du passage des patins de bois, la formation de petits copeaux, sur ces points.

Rien de pareil ne se produisait plus, au moins bien sensiblement, sur la voie éclissée.

Néanmoins il ne s'est manifesté, dans mes expérieuces, aucune différence appréciable entre le frottement sur cette voie et sur la voie ordinaire, dans aucun cas, ni dans aucune circonstance.

(1) Il n'était pas facile de tailler autrement les longs plateaux de bois qui formaient les patins du wagon frottant. D'ailleurs je ne pouvais pas tout expérimenter, et le champ de mes recherches était déjà bien étendu.

C'est évidemment que la résistance spéciale qui devait se produire, *théoriquement*, sur la voie ordinaire, aux joints de rails, surtout quand il se formait des petits copeaux, était d'un ordre tout à fait *négligeable*.

On s'était d'ailleurs demandé, à la suite des expériences relatées dans mon précédent mémoire sur le frottement des roues calées ou de courts sabots en fer, si le mode de pose de la voie sur traverses, en permettant aux rails de fléchir un peu et de vibrer, entre leurs appuis, sous la pression des roues ou de leurs sabots, pendant leur passage entre les traverses, n'avait pas exercé une influence perturbatrice sur la valeur du frottement aux différentes vitesses. La chose était en effet possible et admissible. Mais, dans mes dernières expériences, faites avec de longs patins ($0^m,90$ et $1^m,20$), sur une voie posée comme je viens de le dire, on ne peut plus admettre qu'un pareil effet se soit produit; et, comme des résultats tout à fait concordants avec ceux obtenus précédemment s'y sont manifestés, on doit conclure que l'influence des petites flexions et vibrations, qui ont pu et même dû se produire sous les roues calées et sous les courts sabots, voire même encore un peu peut-être sous les courts patins, était pour le moins d'un ordre *négligeable*, et que la variation, d'ailleurs très-considérable, du frottement avec la vitesse, qui a toujours eu lieu dans mes expériences, ne saurait être attribuée à cette cause.

On pourrait cependant être encore tenté d'attribuer à cette cause la petite variation du frottement qui s'est produite, dans mes expériences, avec la longueur de la surface frottante. Mais il est facile de reconnaître, en envisageant tout l'ensemble des résultats que j'ai obtenus avec diverses longueurs de surface frottante, que, si la flexion et la vibration des rails, sous les courts patins et les roues, a eu de l'influence, ce qui est fort possible, cette influence n'a pu que modifier un peu, dans son détail, l'allure du phénomène de la variation du frottement avec l'étendue de la surface frottante et conséquemment avec la pression spécifique, phénomène qui n'en existe pas moins et qui peut même toujours s'énoncer de la même manière générale. Du reste je reviendrai sur ce point, dans le chapitre prochain, avec plus de détail et de précision.

7. Frottement *au départ*.

Il n'y a eu de frottement *spécial* au départ que pour les bois et le cuir sur rails mouillés ou huilés.

Les résultats que m'ont donnés de très-nombreuses expériences faites sur le démarrage, dans les conditions que j'ai exposées au chapitre précédent (II, 8), sont :

1° Pour le fer, il n'y a jamais eu de frottement *spécial* au départ, dans aucun cas.

Dans tous, sans exception, l'effort strictement nécessaire pour démarrer, mais sans faire plus, bien entendu (sans communiquer en très-peu de temps au corps une vitesse notable), est tout à fait le même que la résistance, due au frottement, éprouvée par le fer pour glisser à vitesse extrêmement petite, et est d'ailleurs variable comme elle et entre les mêmes limites.

Il est dès lors évidemment plus grand que la résistance éprouvée par le fer pour glisser à vitesse notable, et surtout à grande vitesse.

2° Pour le bois, sur rails sensiblement secs, il n'y a pas davantage de frottement *spécial* au départ; et tout ce que je viens de dire pour le fer peut se répéter.

Particularité présentée par les bois encore verts ou légèrement humides, sur rails secs.

Seulement pour le bois encore vert (ou, plus exactement, coupé depuis quelques mois seulement) ou légèrement humide, toujours sur rails secs, le frottement au départ a été d'ordinaire un peu plus grand que pour

le même bois sec; mais il a été aussi un peu plus fort, ordinairement, à vitesse extrêmement petite, sans s'élever jamais toutefois au-dessus des valeurs qu'atteint quelquefois, et même assez souvent encore, le bois sec dans les mêmes circonstances.

3° Sur rails mouillés ou huilés, le bois a bien évidemment un frottement *spécial* au départ.

Frottement spécial au départ des bois sur rails mouillés ou huilés.

Son frottement au départ est même alors, en général et en moyenne, *double* de celui correspondant au glissement à vitesse extrêmement petite, dans les mêmes circonstances, et est également variable, comme lui, entre une limite supérieure et une limite inférieure.

Il a toujours été absolument impossible d'éviter que, sur rails mouillés ou huilés, le bois, si doucement et si graduellement qu'on soit arrivé au démarrage, n'ait, aussitôt démarré, glissé avec rapidité, par le seul effet de la tension du ressort du dynamomètre qui avait été strictement nécessaire pour déterminer le démarrage; tandis que le même effet a toujours pu être évité dans tous les autres cas, lorsqu'on prenait soin de produire le démarrage avec assez de précaution et de douceur. Cette différence de résultat dans les deux cas s'explique très-bien et d'elle-même après ce que je viens de dire.

Malgré sa valeur spéciale, le frottement au départ du bois, sur rails mouillés, est resté ordinairement inférieur à celui du bois sur rails secs, surtout du bois vert ou légèrement humide. Néanmoins, il lui a été assez souvent égal, et même quelquefois supérieur, particulièrement pour le sapin et l'orme tortillard.

Résultats relatifs au cuir et à la gutta-percha.

J'ai fait quelques essais de démarrage de cuir (frottant sur sa chair) et aussi de gutta-percha (préalablement comprimée, en fabrication, à la pression qu'elle devait supporter, soit à 10 kilogrammes par centimètre carré). Ces substances se sont montrées tout à fait

semblables au bois, pour le frottement, sauf une particularité présentée par la gutta-percha.

Le frottement au départ du cuir, sur rails secs, s'est montré tout à fait égal à celui des bois tendres. Mais, sur rails mouillés, il s'est montré supérieur à ce qu'il a été pour tous les bois que j'ai essayés sur rails mouillés, même à celui du sapin.

Le frottement au départ de la gutta-percha, sur rails mouillés, n'a pas été grand; il s'est montré de même ordre que celui des bois qui ont présenté la moindre résistance au démarrage (peuplier blanc et chêne). Mais, sur rails secs, la résistance de la gutta-percha au démarrage s'est montrée considérable, plus considérable que celle d'aucun bois.

Je n'ai même pas pu parvenir à produire franchement et complétement son démarrage sur rails secs. J'ai craint de casser le dynamomètre, qui arrivait aux limites supérieures de l'effort dont il paraissait capable; mais, sans démarrer encore franchement et complétement, le wagon frémissait et semblait éprouver comme une sorte de commencement de mouvement qui donnait à penser que l'effort exercé était tout près d'être suffisant pour produire le démarrage.

Le cuir, aussitôt après son démarrage, s'est comporté tout à fait comme le bois, sur rails secs et sur rails mouillés.

La gutta-percha, au contraire, sur rails mouillés, n'a pas éprouvé, après démarrage, ce glissement rapide qui s'est produit pour tous les bois et pour le cuir. Son frottement, à vitesse extrêmement petite, s'est montré le même qu'au départ, absolument comme celui des bois, du cuir et de la gutta percha elle-même, sur rails secs, et celui du fer sur tous les rails.

8.
RÉSUMÉ.

Résumé.

Divers ordres de frottement. *Cas et circonstances qui donnent lieu à chacun d'eux.*

Pour résumer les généralités que je viens d'exposer sur les résultats constatés de mes expériences, et en même temps les présenter sous un autre mode de groupement, qui contribuera à les graver dans l'esprit, je dirai que les frottements que j'ai observés peuvent se diviser en quatre classes, qui sont :

1° Les grands frottements ;
2° Les frottements moyens ;
3° Les petits frottements ;
4° Les très-petits frottements.

1° Grands frottements.

Les *grands* frottements sont, et sont uniquement, ceux des différents bois, d'ailleurs verts ou secs, et à toutes surfaces, ainsi que du cuir et de la gutta-percha, sur rails sensiblement secs ; on peut même y ajouter celui de la gutta-percha sur rails mouillés.

Les différences d'étendue de la surface frottante et de nature du bois n'y produisent que des différences *de détail* dans la valeur du frottement, qui est un peu plus grand pour les bois tendres que pour les bois durs, et qui, diminuant d'abord à mesure que la superficie frottante diminue ou que la pression spécifique augmente, paraît se relever ensuite, à partir d'une certaine valeur minima, à mesure que la superficie frottante diminue davantage ou que la pression spécifique devient de plus en plus grande.

2° Frottements moyens.

Les frottements *moyens* sont :

1° Ceux du fer dans toutes les circonstances, même sur rails huilés ; pourtant, dans ce dernier cas, le frottement n'est moyen qu'au début du glissement (quand

la surface du fer n'est pas encore polie), et aussi quand cette surface n'est point petite et que la pression spécifique n'est pas grande, comme elle l'ont été dans le glissement des roues calées, dont le frottement sur rails huilés, même au début du glissement, n'a été que de l'ordre des petits frottements.

Dans tous les autres cas de glissement du fer, les circonstances, autres que la nature de la matière frottante, n'ont ordinairement que *peu ou point* d'influence : ainsi, l'état de sécheresse ou d'humidité des rails n'en a pas, non plus que l'étendue de la surface (excepté seulement quand elle devient très-petite).

Une circonstance qui exerce une influence bien prononcée sur la valeur du frottement du fer, c'est le degré de poli de sa surface ; à surface grossière, le fer, à petite vitesse, atteint presque les grands frottements ; quand, au contraire, sa surface est bien polie, le fer tombe dans les petits frottements, même sur rails qui ne sont pas gras.

2° Les frottements de bois et de cuir sur rails mouillés, pendant la première minute du glissement, alors qu'il n'y a encore que de l'eau interposée entre le bois ou le cuir et le rail.

Dans ce cas, le bois *résineux* donne un plus grand frottement que les autres bois.

Quant à l'étendue de la surface, si elle a de l'influence, ce ne peut être que faiblement et comme dans le cas du fer.

Les *petits* frottements sont :

3° Petits frottements.

1° Ceux de tous les bois, à toutes surfaces, et du cuir, sur rails mouillés, après la première minute de glissement et la formation du cambouis aqueux, et aussi sur rails huilés ;

2° Le frottement de fer sur rails huilés, soit après quelque temps de glissement, quand la surface du fer est polie, soit, dès le début, quand la superficie frottante est très-petite, et conséquemment la pression spécifique très-grande.

4° Très-petits frottements.

Ces frottements de fer, et aussi de bois, sur rails huilés, deviennent *très-petits* quand les surfaces frottantes sont bien polies et surtout quand elles sont à la fois bien polies et très-petites (au moins jusqu'à une certaine limite, mais plus basse dans le cas des surfaces huilées que dans aucun autre).

Frottement au départ.

Le frottement au départ n'a pas de valeur *spéciale*, sauf dans le seul cas des bois et du cuir sur rails mouillés ou huilés.

Variation du frottement avec la vitesse.

Dans tous les cas expérimentés, sans exception, le frottement *diminue* plus ou moins à mesure que la vitesse *augmente*, toutes choses restant égales d'ailleurs. En général, sa diminution est alors d'autant plus prononcée que le frottement est plus grand.

Zones de frottement.

Dans tous les cas d'ailleurs, la variation du frottement avec la vitesse, dans un même ensemble de circonstances *pratiquement* appréciables, ne peut être représentée par une simple courbe, mais seulement par une *zone*, avec courbe *moyenne* ou du frottement *le plus fréquent*. En général, la zone est d'autant plus large que le frottement est plus grand.

Valeurs numériques précises du frottement suivant les circonstances.

Figures représentatives.

Je n'ai pas donné et ne donne pas de *tableau* des valeurs numériques précises du frottement dans les diverses circonstances qui se sont produites dans mes expériences, parce qu'il m'a paru impossible de le faire d'une manière qui fût complète, en raison de la variation du frottement avec la vitesse.

J'aurais pu, il est vrai, donner, dans chaque cas, les valeurs du frottement à différentes vitesses. Mais le tableau eût alors présenté une complication extrême, d'autant plus que le frottement varie toujours, en outre, entre un maximum et un minimum, avec valeur habituelle, et qu'il eût fallu donner tout cela, dans chaque ensemble de circonstances pour lequel le frottement diffère par quelqu'un de ces éléments.

Un tableau de valeurs numériques du frottement, qui soit à la fois exact et complet, est donc à peu près impossible à donner; et surtout il serait d'une complication et d'une confusion qui doivent le faire rejeter absolument.

Au contraire, les *figures représentatives* qui sont annexées à ce mémoire (Pl. II, III et IV) donnent, et au delà, tout ce que pourrait contenir le tableau le plus complet, et le donnent d'une manière concise, claire, et parlante à la fois.

Je ne puis donc que m'en tenir à ces figures, qui sont la meilleure expression que j'aie pu trouver des résultats, tant de détail que d'ensemble, tant isolés que rapprochés et comparés, tant développés que réduits et résumés, de toutes mes expériences.

Je rappelle d'ailleurs que, dans ces figures, les courbes en traits pleins continus ont seules le caractère que je viens d'indiquer et seules doivent être prises en considération, en tant que résultats expérimentaux positifs (avec les observations isolées, représentées par des points entourés d'un petit cercle); le reste se rapportant à des déductions qui seront exposées plus loin (V).

IV.

Essai d'explication des résultats constatés et d'énoncés généraux des lois de frottement qui paraissent en ressortir.

Considérations générales.

Dans le chapitre précédent, je me suis strictement et rigoureusement borné à énoncer les *résultats positifs et incontestables* de mes expériences.

Je me suis gardé avec le plus grand soin de toute *généralisation* et de toute *déduction par le raisonnement* pour des cas *non observés*, en connaissant bien le danger, surtout en pareille matière.

La plupart des lois physiques énoncées ne se sont trouvées souvent inexactes que pour avoir été déduites, par généralisation, de faits d'ailleurs très-bien observés, mais seulement dans des circonstances particulières dans lesquelles les choses ne se passent point de même que dans d'autres, auxquelles on est naturellement porté à étendre les résultats observés dans les premières.

Je me suis également abstenu complétement de toute *explication* des résultats obtenus, parce que, si les résultats positifs peuvent bien être observés et constatés, il n'en est pas de même de leur explication, qui souvent échappe, et sur laquelle on ne peut faire, la plupart du temps, que des hypothèses, plus ou moins plausibles d'ailleurs, mais toujours un peu incertaines et contestables, qui souvent sont renversées plus tard par d'autres observations conduisant à des résultats incompatibles avec ces hypothèses.

Néanmoins, bien que de pareilles hypothèses ne soient pas toujours très-solides, on ne peut se dissimuler qu'il est indispensable d'en faire, pour chercher à

expliquer et pour coordonner entre eux, classer et faire entrer dans la mémoire, les résultats positifs obtenus expérimentalement, résultats qui, sans cela, ne présenteraient, la plupart du temps, quand ils ne sont pas tous très-simples et très-uniformes, qu'un chaos indigeste et un labyrinthe inextricable de faits isolés, sans lien entre eux et sans fil conducteur.

C'est donc répondre à un besoin impérieux de l'esprit que de présenter des *hypothèses explicatives* d'un grand nombre de faits observés, et d'énoncer des *lois* qui les régissent, sauf seulement à être *très-sobre* sur ce sujet et à se réduire au strict nécessaire.

C'est, en conséquence, ce que je vais chercher à faire dans ce chapitre, où je n'ai pas la prétention de tout expliquer, mais où néanmoins je donnerai les explications les plus indispensables, qui me paraissent d'ailleurs ressortir de l'ensemble même des faits, vus de près et pendant leur production même, avec une foule de détails d'observation dont je ne puis même pas rendre compte dans ce mémoire.

1. Explication de la variabilité du frottement dans un même ensemble de circonstances pratiquement appréciables.

Et d'abord, la grande variété des valeurs du frottement que j'ai obtenues dans mes expériences, variété qui s'est même manifestée pour un même ensemble de circonstances pratiquement appréciables et qui a produit ce résultat des zones de frottement au lieu de courbes uniques, me paraît tenir à ce que dans les conditions de mes expériences, il y a toujours eu, bien qu'à un degré plus ou moins prononcé, usure assez considérable de la matière frottante.

Plus cette usure a pu être variable, dans les mêmes conditions d'ailleurs, au moins apparentes, plus le frottement s'est montré variable et ses zones ont été larges.

Ainsi, avec les bois, beaucoup plus qu'avec le fer, et avec les bois tendres un peu plus qu'avec les bois durs; plus (surtout à petite vitesse) avec le fer à surface grossière, n'usant que par un certain nombre de points de sa surface, qu'avec le fer dressé à la raboteuse, qui lui-même a donné un frottement plus variable que le fer poli; ce dernier l'eût sans doute donné moins variable encore qu'il ne l'a fait s'il eût glissé sur des rails bien polis eux-mêmes; en général, enfin, d'autant plus (non pas peut-être par écart relatif, mais au moins par écart absolu) que le frottement a été plus grand.

On conçoit, en effet, que le bois, en raison de son défaut d'homogénéité, chimique et physique, donne lieu à un frottement très-variable d'un moment à l'autre, toutes choses égales d'ailleurs, beaucoup plus variable que le frottement du fer. On conçoit même que le fer, moins sa surface est polie, c'est-à-dire régulière, donne lieu à un frottement d'autant moins régulier, surtout sur des rails qui ne sont pas eux-mêmes bien polis. On conçoit enfin que plus le frottement est grand, plus ses écarts absolus soient considérables.

2. Causes probables du frottement.

Le frottement est-il d'ailleurs autre chose que le résultat de l'arrachement des molécules, arrachement qui produit l'usure?

Il est bien certain que le frottement est d'autant plus intense que cet arrachement est plus considérable, toutes choses égales d'ailleurs, et que dès lors cet arrachement, qui se produit toujours plus ou moins dans tout frottement, doit y jouer un rôle important et être une de ses causes.

Mais est-ce la seule?

Ce n'est pas admissible. Il doit y avoir entre les matières glissant l'une sur l'autre, à leur surface de contact, attraction moléculaire et dès lors résistance à la séparation, cause de frottement par conséquent.

En outre, les surfaces de contact ne sont jamais des surfaces géométriques simples et régulières. Elles sont formées d'aspérités plus ou moins considérables

qui, dans le glissement, sont une cause de résistance, c'est-à-dire de frottement.

Cette dernière circonstance, et peut-être un peu aussi la précédente avec elle (au moins quelquefois, sinon toujours), est sans doute la cause de l'arrachement moléculaire ou usure, qui accompagne toujours plus ou moins le glissement. Mais cet arrachement ou usure n'en est pas moins une cause distincte de résistance, c'est-à-dire de frottement.

Il y a bien encore une autre cause de résistance au glissement, mais celle-là n'est pas générale; elle ne peut agir que dans certains cas particuliers; c'est la dépression que peut éprouver l'un des corps en contact, à l'endroit même du contact, et le plan incliné qui en résulte et que l'autre corps doit remonter pour glisser sur le premier, ou plutôt qu'il doit abaisser, en déplaçant la dépression au fur et à mesure de son avancement. Mais, d'abord, il ne faut pas s'exagérer l'importance de cette résistance, attendu qu'elle doit être compensée, au moins en partie, par l'action de ressort de l'arrière de la dépression qui tend à se relever et à pousser en avant le corps glissant avec une puissance égale, au moins à peu près, à la résistance que l'avant oppose à l'abaissement (à moins que le corps déprimé ne soit pas élastique, ce qui est un cas très-particulier et tout spécial). Ensuite, la dépression en question ne peut guère se produire d'une manière sensible et exercer une influence notable, si influence elle exerce jamais réellement, que quand la surface de contact a très-peu de longueur dans le sens du glissement ou, plus généralement, quand la pression est relativement et spécifiquement considérable sur cette surface, ce qui n'est encore qu'un cas particulier.

Influence générale de chacune de ces causes.

Ainsi on doit admettre trois causes générales au frottement : attraction moléculaire, aspérités des surfaces de contact, arrachement qui s'y produit.

Ces trois causes agissent simultanément, chacune avecune intensité propre et variable, suivant les cas et circonstances.

La dernière paraît être la plus énergique et en même temps la plus variable dans les mêmes autres condi-

tions. Tout frottement quelque peu considérable est accompagné d'usure, plus ou moins rapide d'ailleurs, et l'on peut même dire qu'il est à peu près en raison de cette usure. D'un autre côté, tout frottement sans usure, ou, pour parler plus exactement, à très-faible usure, est très-faible lui-même.

Il est vrai que la rapidité de l'usure accompagne ordinairement, toutes autres choses égales d'ailleurs, la rugosité des surfaces de contact et est à peu près en raison de cette rugosité, de sorte qu'on peut dire aussi bien que le frottement est à peu près en raison de la rugosité des surfaces de contact et qu'il diminue à mesure que ces surfaces deviennent plus polies (1). Cela est incontestable et prouve assurément que les aspérités des surfaces de contact sont aussi une cause importante de frottement. Mais il n'en reste pas moins probable que, dans l'action simultanée de cette cause et de la précédente (sur laquelle d'ailleurs l'état de rugosité des surfaces de contact peut et doit même avoir une influence considérable et presque exclusive, ou au moins très-dominante), l'arrachement moléculaire, bien que conséquence et non cause première, ne doive produire la plus forte portion de la valeur du frottement.

Quant à l'attraction moléculaire réciproque des matières en contact, elle ne doit avoir qu'une faible influence comparativement aux deux autres causes de frottement, et son effet doit être peu sensible quand ces deux autres causes agissent un peu énergiquement. Mais dès qu'il en est autrement, par suite du poli des surfaces en contact et de la faiblesse de leur usure, les

(1) Cet énoncé pourtant ne serait peut-être pas absolument vrai jusqu'à la limite. Je vais revenir sur ce point.

résultats de l'attraction moléculaire peuvent devenir sensibles et même dominants.

C'est ainsi qu'on peut s'expliquer comment, dès que les surfaces en contact deviennent très-polies, toutes choses égales d'ailleurs, leur adhérence l'une à l'autre devient plus considérable, au moins pour s'opposer à leur séparation normale bien plutôt encore que pour s'opposer à leur séparation par glissement, qui reste toujours bien plus facile ; ce qu'on s'explique aisément, attendu que, dans la séparation par glissement, l'attraction des molécules qui s'éloignent l'une de l'autre est en partie compensée par celle des molécules qui se rapprochent du fait même du glissement; tandis que, dans la séparation normale, cette compensation n'a lieu en aucune façon.

Il n'est même pas impossible qu'un très-grand poli n'augmente un peu la résistance au glissement relativement à ce qu'elle est pour un poli un peu moindre, opinion que j'ai entendu émettre par quelques personnes, mais sur laquelle je ne suis pas en mesure de décider. Si l'exactitude de cette opinion était établie sur des observations incontestables, le fait pourrait s'expliquer par le plus grand rapprochement les unes des autres d'un plus grand nombre de molécules des deux corps en contact, cause d'augmentation de frottement bien évidente, mais qui seulement est compensée, plus ou moins exactement d'ailleurs, par la diminution de plus en plus grande des aspérités et de l'usure qui en est la conséquence. C'est donc une question d'effet composé de plusieurs causes, produisant des résultats séparément variables, question qui ne peut se trancher *à priori*, mais dont on conçoit également la solution dans un sens ou dans l'autre.

3. Les causes sus-indiquées peuvent donner raison des phénomènes si variés du frottement.

Ces considérations générales sur les causes simultanées et coagissantes du frottement ne sont assurément pas suffisantes pour expliquer positivement, et surtout *numériquement*, les résultats constatés, résultats si variés et si complexes; elles ne sont surtout pas suffisantes pour faire prévoir ces résultats *à priori*, chose très-dangereuse et dans laquelle on est exposé à se trom-

per considérablement. Mais, avec leur aide, on peut, *à posteriori*, donner raison de ces résultats dans une certaine mesure et comprendre, jusqu'à un certain point, comment ils peuvent se produire par le jeu de ces causes diverses, agissant chacune pour son compte, bien que simultanément, chacune avec une intensité propre, variable suivant les circonstances, d'une manière qui diffère souvent de l'une à l'autre, et produisant ainsi des effets composés, dont on ne pressent que trop, *à priori*, la complication et la variété probables.

Complément d'explication de la variabilité du frottement dans un même ensemble de circonstances pratiquement appréciables.

En particulier, la variabilité du frottement dans un même ensemble de circonstances pratiquement appréciables se comprend encore mieux quand on tient compte des aspérités superficielles et de l'attraction moléculaire qu'en tenant compte seulement de l'arrachement des particules matérielles. On conçoit bien en effet que les aspérités superficielles, toutes choses restant égales d'ailleurs, n'offrent pas toujours la même disposition, ne se présentent pas toujours les unes aux autres de la même manière et ne s'enchevêtrent pas également. Cette circonstance doit même influer sur la variation de l'arrachement des particules et y contribuer, avec le défaut d'homogénéité. Il doit également résulter de l'une et de l'autre circonstance une variation dans l'attraction moléculaire totale des deux surfaces en contact, en raison de la variation qui en est la conséquence dans la position relative et l'éloignement réciproque de l'ensemble des particules de ces deux surfaces.

J'aborde maintenant la question de la variation du frottement avec la vitesse.

4. Diminution du frottement à mesure que la vitesse augmente.

1° *Généralité du phénomène.*

J'ai montré comment, dans mes expériences, le frottement a toujours diminué à mesure que la vitesse augmentait (toutes autres choses restant égales d'ailleurs), sans qu'on puisse attribuer ce fait à des flexions et vibrations de la voie, qui n'ont pu se produire, au moins ordinairement, dans les conditions où j'ai opéré, et qui n'auraient pu d'ailleurs causer une diminution de frottement aussi considérable que celle qui s'est manifestée la plupart du temps (III, 6) (1).

Dans un seul cas, il a semblé se manifester une exception à cette loi ; ça a été dans le cas des rails huilés. Mais, dans ce cas, la matière qui glissait sur les rails, bois ou fer, a pris un poli de plus en plus grand, même pendant que la vitesse diminuait et le frottement avec elle. Quand la vitesse était petite avant que le poli se fût produit, le frottement était plus grand qu'à plus grande vitesse dans le même état de la surface, et il diminuait pendant que la vitesse augmentait. Quand la vitesse diminuait rapidement, le poli ne pouvant augmenter sensiblement dans le même temps, on voyait le frottement augmenter. L'exception qui a semblé se manifester, sur rails huilés, à la loi de variation du frottement avec la vitesse ne s'est donc même pas maintenue toujours dans ce cas, et, quand elle a pu se produire,

(1) On ne peut davantage attribuer le fait à l'influence des variations de la résistance de l'air et des autres causes qui ont coagi avec le frottement même, non plus qu'à l'influence des joints de rails. Ces influences, si elles avaient été notables, — et elles n'ont pu l'être (II, 4; III, 6) — n'auraient pu avoir pour résultat qu'un effet précisément opposé à celui qui s'est manifesté. (C'est précisément cet effet de la résistance de l'air qui, dans les expériences de M. Morin, a dû empêcher le phénomène de la diminution du frottement de commencer à se manifester.)

l'augmentation du poli de la surface pouvait en donner une explication très-plausible.

Nous pouvons donc regarder la loi de diminution du frottement, à mesure que la vitesse augmente (toutes autres choses restant égales d'ailleurs), comme *tout à fait générale* dans tous les cas et circonstances de mes expériences.

J'ai montré en outre, dans mon précédent mémoire, que cette loi n'est nullement incompatible avec les résultats expérimentaux obtenus par M. Morin, au contraire, et qu'elle a dû les régir, bien que n'ayant eu sur eux qu'une faible influence, qui a pu échapper à l'observation, en raison de la faible variation des vitesses auxquelles ont été faites les expériences de M. Morin.

On est donc, il me semble, en droit de dire maintenant que la loi de diminution du frottement, à mesure que la vitesse augmente, peut être considérée comme *bien établie, bien réelle, et tout à fait générale.*

Sans doute la rapidité de cette diminution est très-variable : elle est quelquefois très-grande, mais d'autres fois elle est très-faible ; et d'ordinaire elle est d'autant plus faible que le frottement est moins énergique. Mais il n'en est pas moins vrai que, à part la question d'intensité, le phénomène est constant dans tous les cas.

Reste à l'expliquer, s'il est possible de le faire d'une manière plausible et admissible.

2° *Son explication.*

Voici l'explication qui me paraît en rendre compte.

Quand un corps glisse sur un autre, les aspérités des deux surfaces en contact ont d'autant moins le temps de se pénétrer et de s'encheyêtrer que la vitesse de glissement est plus grande. De là doit résulter nécessairement la diminution d'intensité du frottement à mesure que la vitesse de glissement devient de plus en plus grande ; car cette circonstance doit diminuer l'intensité des effets

des trois causes générales du frottement. Je n'ai pas besoin d'insister sur la démonstration de ce fait : elle se voit toute seule, aussi bien que l'explication des variations d'intensité du phénomène suivant les cas.

Quant à la circonstance de la dépression de la surface de contact, elle doit agir dans le même sens, si elle agit et quand elle agit; car cette dépression doit avoir d'autant moins le temps de se produire que la vitesse de glissement est plus grande et avoir par suite d'autant moins d'effet.

5. Influence de l'étendue de la surface frottante et, conséquemment, de la pression spécifique.

J'arrive à l'influence de l'étendue superficielle frottante.

De l'ensemble des résultats d'observation exposé dans le chapitre précédent, il faut conclure que si, dans un grand nombre de circonstances différentes, le frottement n'a pas varié, au moins très-sensiblement, avec l'étendue superficielle frottante, il n'en a pourtant pas été ainsi dans toutes les circonstances de mes expériences, et que, toutes les fois que la superficie frottante est devenue relativement petite et surtout très-petite (par conséquent la pression spécifique relativement grande et surtout très-grande), la valeur du coefficient de frottement a varié, de ce fait seul, plus ou moins d'ailleurs suivant les cas, mais toujours suivant la même loi générale qui a été la suivante :

A mesure que la superficie frottante a diminué, depuis les grandes valeurs jusqu'aux très-petites (et conséquemment, que la pression spécifique a augmenté depuis les petites valeurs jusqu'aux très-grandes), le coefficient du frottement a diminué d'abord jusqu'à une valeur *minima*, puis a commencé à se relever pour continuer ensuite à augmenter.

Dans ce mode général de variation, le mode particulier de diminution première, la valeur relative du minimum, et la superficie frottante (ou plutôt sans doute la pression spécifique)

à laquelle correspond ce minimum, enfin le mode de relèvement et d'augmentation finale du coefficient de frottement, ont varié avec les circonstances comme nous l'avons vu.

Mode, qui en résulte, de variation du frottement avec la pression.

Il en résulte incontestablement qu'on ne peut pas considérer la loi de la *proportionnalité* du frottement à la pression comme rigoureusement exacte et générale, et que la figure représentative de la variation du frottement avec la pression, au lieu d'être tout à fait une ligne droite (correspondant seulement au cas de l'exacte proportionnalité), est une ligne courbe, probablement de la forme générale indiquée dans la *fig.* 5 (Pl. IV).

Tout en conservant sans doute cette forme générale dans tous les cas, la courbe affecterait d'ailleurs, suivant les circonstances, une allure particulière variable quant à la valeur des angles α et β, ainsi que du rayon vecteur OM, et quant à la marche de sa courbure et de ses inflexions du point O au point M et au delà du point M.

Pourtant je ne voudrais pas affirmer *péremptoirement* que la courbe représentative de la variation du frottement avec la pression seule (toute autre cause d'influence écartée) n'est pas en réalité une courbe plus simple que la précédente, bien que toujours différente de la ligne droite, par exemple une courbe comme celle représentée par la *fig.* 6 (Pl. IV).

Il est en effet possible (III, 6) que, dans mes expériences, en passant des longues aux courtes surfaces frottantes, les flexions et vibrations de la voie aient produit un effet de plus en plus prononcé sur la valeur du frottement. Mais alors ce n'aurait pu être qu'en le diminuant ou en l'augmentant de plus en plus; et, si l'on peut être tenté d'attribuer à cette cause la diminution première du frottement, qui s'est manifesté en passant des plus longues aux courtes surfaces, on ne peut s'expliquer par elle le minimum du frottement et surtout son relèvement très-prononcé en passant aux très-courtes surfaces; ou bien inversement. En admettant donc que les flexions et vibrations de la voie aient pu avoir de l'influence (ce qui me paraît d'ailleurs peu probable), il resterait toujours établi, par mes expériences, que le frottement varie avec la pression, suivant un mode représenté soit par une courbe analogue à celle de la *fig.* 5, mais avec un angle β plus grand, plus rapproché de la valeur α, et un relèvement plus prononcé après le point M, qu'il ne ressort immédiatement du résultat direct de mes observations, soit au moins par une courbe de la forme indiquée par la *fig.* 6, qui aurait pour elle le degré de probabilité résultant de sa plus grande simplicité même.

Mes expériences ne sont pas assez concluantes pour décider cette question.

Tout ce qu'elles me paraissent prouver incontestablement, c'est que, en tant que tout à fait rigoureuse et générale, la loi de la variation du frottement avec la pression n'est pas la *proportionnalité*; et que, si elle n'est pas la loi représentée par la figure 5, elle est au moins celle représentée par la figure 6, qui en est d'ailleurs un cas particulier, très-simplifié du reste.

La loi de la proportionnalité du frottement à la pression est ressortie des expériences classiques comme celle de son indépendance de la vitesse, c'est-à-dire qu'elle s'est manifestée sensiblement exacte dans les conditions et limites de ces expériences, et qu'on a pu la croire générale pour cela. Le fait est que la véritable loi de variation du frottement avec la pression ne s'écarte pas sensiblement de la proportionnalité, tant que la pression spécifique ne sort pas des petites valeurs, surtout si en même temps la vitesse reste petite; mais en dehors de ces conditions, il y a écart bien évident.

Il est vrai de dire que cet écart n'est pas précisément un résultat direct de mes expériences, dans lesquelles je n'ai pu faire varier la pression totale qu'entre des limites très-peu éloignées l'une de l'autre (II, 1) (1). Mais, bien que résultat indi-

(1) Je n'ai pu faire varier la pression totale autant que je l'aurais voulu, parce que mon wagon frottant, même tout à fait vide, pesait encore 6 tonnes frottantes, et qu'on ne pouvait, en le chargeant, porter ce poids frottant à plus de 10 tonnes sans crainte de détériorer gravement le wagon. Je ne l'ai même jamais porté à beaucoup plus de 7 tonnes, parce que, à

rect, se déduisant seulement de la variation du coefficient de frottement avec l'étendue de la surface frottante, et par suite avec la pression spécifique, il n'en est pas moins acquis, sauf seulement le détail de son allure précise, détail que d'autres expériences, faites dans d'autres conditions, sont nécessaires pour établir.

Au surplus, il est bon d'observer que la loi de la proportionnalité du frottement à la pression ne découle nullement, comme conséquence rationnelle nécessaire, des considérations que j'ai exposées sur les causes du frottement (IV, 2).

Sans doute on voit bien, par ces considérations, que le frottement doit augmenter avec la pression, qui augmente à la fois l'attraction moléculaire (par le plus grand rapprochement des molécules), l'enchevêtrement des aspérités superficielles, par suite la rapidité de l'usure, et aussi la déformation des surfaces en contact ; mais on ne voit pas que ce doive être, de toute nécessité, *proportionnellement* à la pression. Il semblerait plutôt que ce doive être suivant une loi d'augmentation plus rapide.

Mais je m'abstiens complétement de faire même de plus simples inductions pour chercher à expliquer dans ses détails l'allure de la variation du frottement avec la pression et conséquemment, quand la pression totale reste la même, avec l'étendue de la surface frottante et la pression spécifique, d'abord et surtout parce que cette allure n'est pas encore assez bien et certainement connue, au moins dans ses détails.

6. Influence de l'état des rails.

1° *Rails mouillés.*

Je passe à l'influence de l'état des rails.

Tandis qu'avec les bois (et aussi le cuir et la gutta-percha) l'état de sécheresse ou d'humidité plus ou

ce poids, le frottement était souvent déjà bien fort pour la puissance du dynamomètre et pour les moyens de traction dont je pouvais disposer.

moins grande des rails a exercé une influence considérable sur la valeur du frottement, il n'en a pas été de même avec le fer, dont le frottement n'a pas changé, que les rails fussent secs, humides, ou même tout à fait couverts d'eau.

Je ne sais au juste comment expliquer cela,

Est-ce que l'humidité exercerait sur la matière du bois, du cuir et même de la gutta-percha, une influence modificatrice de son état physique, à laquelle la matière du fer ne serait pas accessible? Est-ce que, même dans le cas du fer, il y aurait en réalité, par suite de la présence de l'eau, diminution du frottement (causée par l'interposition et le roulement facile des molécules liquides sans grande cohésion les unes avec les autres), mais diminution compensée par une augmentation résultant de ce que l'usure et le polissage des surfaces est plus facile et plus rapide alors (fait qui paraît constant, bien que je ne sache trop comment en donner raison)? Cette compensation serait-elle exacte dans le cas du fer, de manière qu'en somme le frottement reste le même, et insuffisante dans le cas des bois, de manière qu'alors la diminution l'emporte? (Il est certain que l'usure et le polissage rapides du bois, dans son glissement avec interposition d'eau, sont encore très-sensibles, mais moins pourtant que ceux du fer dans les mêmes circonstances.)

Je ne sais. Peut-être y a-t-il coaction simultanée de toutes ces causes. Mais en tout cas, il faut le reconnaître, ces explications sont par trop hypothétiques.

Quant aux deux périodes successives du frottement des bois (et aussi du cuir) sur rails mouillés, avec passage graduel de ses valeurs primitives à ses valeurs définitives, il semble naturel d'en voir l'explication dans ce cambouis aqueux qui se forme, et dont la quantité augmente graduellement (jusqu'à un maximum pourtant) sous les patins de bois (et sous le cuir) glissant sur rails mouillés, et qui lubrifierait, plus que l'eau seule, les surfaces en contact, d'ailleurs plus polies déjà, par un frottement de quelque durée, sous

son influence. Cette sorte de cambouis paraît, du reste, formée des particules arrachées du bois (ou du cuir), ramollies et retenues par l'eau et faisant bouillie avec elle (ce qui n'arrive pas avec le fer).

Cette circonstance semblerait de nature à corroborer l'opinion, émise ci-dessus, que l'humidité existant sur les rails exercerait sur la matière du bois, et aussi du cuir, une influence modificatrice de son état physique (qu'elle n'exercerait pas sur le fer). Au début, cette influence serait encore incomplète; il commencerait, peut-être, par ne se produire que la diminution du frottement résultant de l'interposition mécanique de molécules d'eau et de leur roulement facile (1); mais, graduellement, l'eau agirait sur les parties superficielles du bois et du cuir jusqu'à épuisement de son influence.

2° *Rails huilés.* Sur rails huilés, la manière dont les choses se passent est très-curieuse et tout à fait digne de remarque. Au début, au moins quand la surface frottante n'est pas très-petite et est d'ailleurs encore dans un état semblable, quant au poli, à ce qu'elle a été dans les autres expériences, le frottement est le même que sur rails mouillés dans sa période finale (période qui ne diffère d'ailleurs de la première que dans le cas des bois et du cuir, et non dans le cas du fer, pour lequel, du reste, le frottement dans cette période ne diffère pas davantage de celui sur rails secs). C'est seulement au fur et à mesure que le glissement se prolonge, et qu'en même temps le poli se fait de plus en plus, encore avec production d'un cambouis (surtout dans le cas du bois,

(1) On pourrait comprendre que cette cause de diminution du frottement ne produisit pas d'effet dans le cas du fer, parce que le frottement du fer à sec se trouverait être déjà de même ordre, tandis que le frottement des bois et du cuir à sec est d'un ordre plus élevé et tombe précisément, quand les rails se trouvent être mouillés, dans l'ordre de celui du fer.

mais un peu aussi dans le cas du fer), c'est seulement alors que le frottement diminue de plus en plus.

Il semble donc que l'huile, *par elle-même et directement*, n'ait pas, en général, pour la diminution du frottement, une influence beaucoup plus grande que ne l'est celle de l'eau (influence simplement égale à celle de l'eau dans le cas du fer, c'est-à-dire nulle alors; un peu plus grande dans le cas du bois, mais alors égale seulement à celle du cambouis aqueux), et que son action *spéciale*, incontestable d'ailleurs, pour diminuer le frottement, ne soit qu'*indirecte* et ne se produise que par conséquence du poli des surfaces, poli dont la présence de l'huile paraît favoriser beaucoup la formation, l'accroissement rapide et la conservation.

L'eau agit bien un peu de même aussi, mais beaucoup moins que l'huile.

L'huile semblerait agir, comme l'eau, et plus encore que l'eau, sur la matière du bois, et en outre, ce que ne fait pas l'eau, sur celle du fer. Tout à fait au début, elle agirait d'une manière analogue à l'eau, mais encore plus prononcée (comme le cambouis aqueux); et cette action ne produirait d'ailleurs toujours d'effet bien sensible que sur le bois et non sur le fer, pour les mêmes raisons qui ont été indiquées ci-dessus comme possibles, les mêmes motifs de le croire existant également dans la manière dont les choses se passent avec l'huile. Mais graduellement, l'huile, comme l'eau, et encore bien plus qu'elle, agirait sur les molécules superficielles du bois, et même, ce que ne fait pas l'eau, sur celles du fer, jusqu'à épuisement complet de son influence, qui se prolongerait d'ailleurs bien plus longtemps et bien plus loin que celle de l'eau.

Mais, je le reconnais et je le répète, ces explications sont encore ici très-hypothétiques et, partant, très-douteuses.

Enfin, quand la surface frottante a été très-petite, comme celle des roues calées, d'ailleurs méplatisées

ou non, le frottement sur rails huilés est tombé très-bas, au moins pour le fer, même dès le début, diminuant d'ailleurs toujours de plus en plus au fur et à mesure que le glissement se prolongeait, et qu'en même temps le poli se produisait davantage.

Ce fait est bien d'accord avec ce que l'on sait du patinage très-facile des roues de locomotives sur rails gras, qu'on ne s'expliquerait pas, il est bon de le remarquer encore en passant, si l'on se bornait à généraliser le résultat que j'ai obtenu du frottement de longs patins sur rails huilés et à l'étendre au frottement des roues.

Je ne vois d'ailleurs absolument aucune explication à donner sur ce phénomène, *inverse* de celui qui se produit sur rails secs et même mouillés.

Je ne sais s'il se produirait également avec le bois (en patins courbes); je ne l'ai pas essayé sur rails huilés.

Ce n'est peut-être du reste qu'une affaire de différence de position, et aussi de valeur relative, du minimum de frottement correspondant aux petites surfaces ou aux grandes pressions spécifiques, minimum qui pourrait bien exister encore sur les rails huilés, mais qui n'y correspondrait plus qu'à des surfaces plus petites ou à des pressions spécifiques plus grandes, et enfin aurait une valeur relativement beaucoup plus petite que sur rails secs et même mouillés; ce qui n'en resterait pas moins un fait remarquable et que je ne saurais, en tout cas, comment expliquer, même très-hypothétiquement.

Nouvelles considérations sur l'influence de l'étendue superficielle frottante et, par suite, de la pression.

Est-il encore possible, en présence d'un pareil fait, de douter de l'influence de l'étendue superficielle frottante et par conséquent de la pression spécifique, par suite, de la pression totale, sur la valeur du frottement, et d'attribuer les effets observés aux flexions et vibrations des rails? Il faudrait admettre pour cela que ces flexions et vibrations ont été plus fortes sur rails huilés que sur rails mouillés; de même qu'il faudrait admettre qu'elles ont été moins fortes sous les courts patins en fer que sous les courts patins en bois, et, dans ce dernier cas, moins fortes sur rails mouillés que sur rails secs. Tout cela est absolument inadmissible et vient en conséquence corroborer ce que j'ai dit ci-dessus (IV, 5) de l'influence incontestable de la pression sur la valeur du coefficient de frottement.

7. Influence de la matière frottante.

L'influence de la matière frottante (ainsi du bois comparativement au fer, et des bois divers comparativement les uns aux autres) se comprend aisément. On conçoit en effet très-bien que la résistance moléculaire à l'usure, c'est-à-dire à l'arrachement des aspérités superficielles, et aussi l'attraction moléculaire, varient d'une matière à une autre, et de plus que l'état superficiel d'une matière ne soit pas le même que celui d'une autre.

Il ne faut d'ailleurs pas se hâter de juger d'après une seule considération. Ainsi, de ce que la résistance à l'arrachement moléculaire paraît devoir être plus grande dans le fer que dans le bois, et dans les bois durs que dans les bois tendres, il ne faudrait pas conclure de suite que le frottement doit être plus grand; car, d'un autre côté, plus cette résistance à l'arrachement est grande, moins l'arrachement lui-même, et l'usure qui en résulte, se produisent, et cette circonstance est une cause de compensation plus ou moins exacte; on comprend même qu'elle puisse devenir prédominante. D'ailleurs la nature des matières en contact et leur plasticité plus ou moins grande doivent exercer une influence, variable suivant ces matières, sur l'attraction moléculaire superficielle de l'une à l'autre, et sur l'enchevêtrement et la déformation des aspérités, d'ailleurs va-

riables aussi elles-mêmes dans leurs formes, leurs saillies, etc.

On comprend donc, sans pouvoir néanmoins les prédire *à priori*, ni même pouvoir les bien expliquer dans leurs détails *à posteriori*, les différences qui peuvent se produire dans le frottement d'une matière à une autre; l'observation expérimentale seule peut décider quels sont les frottements les plus forts et les plus faibles.

Influence du degré de poli des surfaces.

Ce que l'on comprend et ce que l'on s'explique surtout bien, trop bien pour qu'il ne soit pas tout à fait oiseux d'y insister, c'est l'influence du degré de poli de la surface frottante. On s'explique même parfaitement, d'après ce que j'ai déjà dit à l'occasion de l'influence de la vitesse (IV, 4), que, plus la vitesse de glissement devient grande, plus l'influence de la rugosité superficielle doit diminuer, et qu'elle puisse même le faire jusqu'à disparaître presque complétement à très-grande vitesse, tandis qu'elle est d'autant plus prononcée que la vitesse de glissement est plus petite.

Circonstances dans lesquelles les divers frottements se rapprochent et tendent à se confondre.

On comprend d'ailleurs que le poli des surfaces frottantes (en tant que les diverses matières en sont plus ou moins susceptibles), une grande vitesse, la lubrification des surfaces, une faible pression entre ces surfaces, etc., en diminuant tous les frottements, les rapprochent et les fassent tendre vers la même limite ou, au moins, vers des limites très-voisines, comme cela arrive en effet.

C'est seulement ainsi que peut s'entendre la doctrine de l'égalité de tous les frottements que professent quelques personnes. Elle ne devient sensiblement vraie que dans un cas particulier et alors que le frottement est très-faible. Mais, comme doctrine générale, elle est loin et même très-loin de la vérité.

8. Frottement au départ.

La non-existence d'uu frottement *spécial* au départ (ou démarrage), sauf seulement dans le cas des bois et du cuir sur rails mouillés ou huilés, est contraire aux idées reçues et accréditées. Elle est pourtant certaine; et de plus, on peut s'expliquer facilement que l'opinion contraire se soit établie.

En effet, d'ordinaire, on démarre plus ou moins *vivement*, c'est-à-dire que l'on communique plus ou moins *rapidement* à la masse que l'on ébranle une *vitesse* plus ou moins grande, par conséquent une *force vive* plus ou moins considérable, qui exige, pour sa production, une dépense *spéciale* de force plus ou moins notable; de sorte que, ordinairement, pour cette première raison, le démarrage peut paraître opposer une résistance *spéciale;* mais ce n'est pas là du *frottement.* En outre, et même dans les cas de démarrage *très-doux*, on compare habituellement la résistance au démarrage à la résistance en *vitesse* plus ou moins grande, et dès lors, en raison de la *diminution* du frottement à mesure que la vitesse augmente, il n'est pas étonnant qu'on trouve une valeur *plus grande* à la résistance au départ.

Ce n'est pas, du reste, qu'on ne puisse concevoir, s'il existait réellement, un accroissement spécial du frottement au départ, en raison du plus grand enchevêtrement des aspérités superficielles résultant de l'état de repos avec pression; et c'est en effet l'explication qu'on en donnait en l'admettant. Mais on comprend également que cet enchevêtrement et le frottement ne soient pas plus grands qu'à vitesse *infiniment* petite, et c'est ce qui arrive en réalité.

Pourtant les bois et le cuir, sur rails mouillés ou huilés, éprouvent une résistance *spéciale* au dé-

part, résistance qui est même *très-considérable*, puisqu'elle est *double*, en moyenne, de celle qu'ils éprouvent à vitesse infiniment petite. C'est vrai, et je ne sais même absolument pas comment expliquer ce fait.

Tout ce que je puis, c'est de bien préciser les conditions dans lesquelles il se produit. Ce n'est évidemment pas une affaire de *plasticité*, puisqu'il ne se produit pas avec la gutta-percha. Il semble dès lors que ce soit plutôt une affaire de *perméabilité* ou d'*action* du liquide sur la matière; mais je ne donne pas cette remarque pour une explication, c'est une simple constatation de circonstance concomitante.

9. RÉSUMÉ. Causes du frottement.

En résumé, il me semble qu'on doit admettre trois causes générales et essentielles de frottement, à savoir : l'attraction moléculaire, les aspérités des surfaces, et l'arrachement particulaire qui s'y produit en conséquence pendant le glissement.

Le jeu de ces trois causes me semble pouvoir rendre compte des phénomènes que présente le frottement; non que j'aie pu les expliquer tous, surtout dans leurs détails; mais je pense avoir donné raison satisfaisante et admissible, d'ailleurs d'une manière générale, des principaux et des plus saillants, à savoir :

Phénomènes expliqués.

1° De la diminution du frottement à mesure que la vitesse augmente;

2° Des zones de frottement;

3° De l'influence de la matière frottante;

4° De l'influence du poli des surfaces;

5° De la non-existence en général du frottement spécial au départ.

Particularités inexpliquées.

Les particularités que je n'ai pas expliquées, faute de savoir comment le faire, sont :

1° Le mode de variation du frottement avec l'étendue de la surface frottante et, corrélativement, avec la pression, mode que mes expériences n'ont d'ailleurs pas pu établir d'une manière assez certaine, bien qu'elles en aient incontestablement donné un aperçu et un à peu près desquels il résulte que ce mode est certainement un peu différent de celui auquel on a cru jusqu'à présent;

2° L'influence de l'interposition des liquides aqueux ou gras entre les surfaces frottantes, influence sur laquelle je n'ai pu présenter que des hypothèses trop peu fondées;

3° L'existence exceptionnelle d'un frottement spécial au départ dans le cas des bois et du cuir sur rails mouillés ou huilés.

Ces particularités, d'ailleurs, pour n'avoir pas été expliquées, n'infirment nullement les considérations générales que j'ai présentées et qui donnent raison des autres faits.

Je me suis, du reste, attaché à faire ressortir toutes les remarques auxquelles a donné lieu l'observation attentive des phénomènes. Ces remarques pourront être utiles pour une théorie du frottement plus complète que je n'ai pu la faire. En tous cas, elles sont très-nécessaires pour se former une idée bien exacte de la manière dont les choses se passent.

V.

ÉTABLISSEMENT D'UNE FORMULE REPRÉSENTATIVE DU FROTTEMENT; VALEURS ET VARIATIONS DE SES COEFFICIENTS DANS DES CIRCONSTANCES DIVERSES.

Il me reste, pour compléter mon travail, à condenser, s'il est possible, dans une formule représentative générale, suffisamment exacte et simple en même temps, tous les résultats de frottement, si variés, que j'ai obtenus.

Considérations générales sur les formules.

Je sais tout ce qu'on peut dire contre les formules représentatives des phénomènes naturels, surtout quand ces phénomènes sont aussi complexes et variables que celui du frottement, dépendant de la coaction d'un aussi grand nombre d'influences diverses, dont les effets varient séparément et d'une manière différente pour chacune, suivant des lois inconnues ou mal connues, et selon des circonstances dont beaucoup ne peuvent être appréciées ou ne peuvent l'être qu'imparfaitement.

Ces formules, même quand elles ont été établies avec le plus grand soin, peuvent bien représenter exactement, ou du moins avec une approximation suffisante, un plus ou moins grand nombre de phénomènes observés, dans des circonstances plus ou moins variées; mais ces circonstances sont toujours, quoi qu'on ait fait, plus ou moins restreintes et renfermées entre certaines limites; les formules établies, bien que pouvant être sensiblement exactes entre ces limites, ne le sont généralement plus en dehors; néanmoins la tendance que l'on a à généraliser fait employer ces formules dans tous les cas, sans distinction, et alors elles induisent souvent en erreur, même grossière. D'ailleurs, dans les limites mêmes de leur exactitude, on ne peut pas toujours bien apprécier les circonstances qui influent sur les valeurs des coefficients; ces circonstances peuvent en outre varier d'une manière qu'on ne peut prévoir: de sorte que, ou bien on reste dans une incertitude qui empêche de pouvoir faire usage de la formule, ou bien on l'emploie d'une manière inexacte qui induit encore en erreur, même dans les limites entre lesquelles il semble qu'on puisse compter sur son exactitude. Aussi voit-on bien souvent l'emploi des formules conduire à l'erreur. De là discrédit des formules et de ce qu'on appelle la *théorie*.

Et pourtant la pratique ne peut point s'en passer, et ceux qui font le plus profession de les dédaigner s'en servent constamment, au moins à leur insu. En effet, pas un calcul, pas une déduction ne sont possibles sans l'emploi d'une formule, plus ou moins déguisée d'ailleurs.

Le défaut absolu de formules représentatives des phénomènes naturels aurait de bien pires effets que les erreurs qu'elles produisent quelquefois; il n'y aurait tout simplement plus de pratique possible sans elles.

Les formules sont donc des outils de travail indispensables, bien qu'ils puissent quelquefois faire un mauvais ouvrage, soit à cause de leur imperfection, soit en raison de l'inhabileté de ceux qui les emploient. On n'arrive pas du premier coup à leur meilleure forme; mais on les rectifie peu à peu: et toujours il faut avoir soin de ne s'en servir que dans les cas où l'expérience a prouvé qu'ils conviennent; ou bien si l'on veut s'en servir dans d'autres, faute de meilleurs bien vérifiés, il ne faut pas s'étonner et s'en prendre à eux, ni à ceux qui les ont construits et qui ont fait connaître les circonstances auxquelles ils s'appliquent, s'ils ne fonctionnent plus bien et ne conduisent plus au résultat désiré.

On dit souvent: La théorie est une et la pratique est autre. C'est là un malentendu. Une théorie qui n'est pas en accord avec la pratique n'est qu'une théorie *mal faite ou mal appliquée;* c'est une *erreur*, ou de ceux qui l'ont établie ou de ceux qui en font usage; elle est à rectifier ou à mieux employer, voilà tout. Mais cela ne prouve pas que, en thèse générale, les praticiens n'aient rien à faire de la théorie.

Établissons donc, autant que possible, des formules représentatives des phénomènes étudiés et constatés expérimentalement. Seulement apportons le plus grand soin à les établir aussi exactes, ou au moins aussi approximatives qu'il est nécessaire, en leur conservant en même temps la forme la plus simple que permette cette exactitude. Faisons bien connaître, en même temps, les conditions dans lesquelles ont été observés les phénomènes qu'elles représentent, pour qu'on sache bien dans quelles circonstances et entre quelles limites elles sont applicables en toute sécurité. Enfin, gardons-nous avec le plus grand soin de toute généralisation et extension, toujours plus ou moins incertaines et imprudentes.

1. L'expression du frottement doit encore être admise proportionnelle à la pression. $f = p.c.$

S'il est vrai que la loi classique de la proportionnalité du frottement à la pression ne peut plus être regardée comme rigoureusement exacte et générale (IV, 5 et 6, 2°), il n'en reste pas moins vrai qu'elle ne s'éloigne pas beaucoup de la réalité, surtout dans les circonstances ordinaires de la pratique. D'ailleurs on ne connaît pas encore avec assez de précision la véritable loi de variation du frottement avec la pression. Enfin, quelle que soit cette loi, on peut toujours la représenter par la proportionnalité avec *correction* convenable du *coefficient* de cette proportionnalité.

En conséquence on peut et l'on doit même continuer, au moins quant à présent, de représenter le frottement, conformément à la doctrine établie, par la formule... $f = p.c$,

p représentant la pression totale qui s'exerce entre les surfaces frottantes; seulement le coefficient c ne peut plus être regardé comme absolument et toujours indépendant de cette pression, ou au moins de son

rapport à la superficie frottante, c'est-à-dire de la pression *spécifique*.

Le coefficient c ne peut surtout plus être considéré comme indépendant de la vitesse, puisqu'il varie au contraire beaucoup avec elle, d'après toutes les observations faites (même d'après les anciennes, discutées et interprétées comme elles peuvent l'être maintenant) (IV, 4).

2. Forme à admettre pour le coefficient c. $\frac{k-\gamma}{1+a.v}+\gamma$

La variation du coefficient c avec la vitesse peut être représentée, en prenant les vitesses pour abscisses et les valeurs du coefficient c pour ordonnées, par une courbe, partant d'un point situé sur l'axe des ordonnées, à une hauteur finie (plus ou moins grande, suivant les cas), courbe constamment descendante et convexe vers l'axe des abscisses, au-dessous duquel elle ne doit d'ailleurs jamais descendre, sans pour cela converger nécessairement vers cet axe lui-même, mais peut-être bien vers une parallèle à cet axe, située alors expressément au-dessus de lui (1).

La courbe la plus simple qui satisfasse à cet ensemble de conditions est l'arc d'hyperbole représenté par l'expression... $c = \frac{k-\gamma}{1+a.v}+\gamma$, dans laquelle

v représentant la vitesse du glissement,

k, ordonnée à l'origine de la courbe, représente la valeur de c à une vitesse infiniment petite; j'ajouterais même : et la valeur du coefficient de frottement au départ, n'était le cas d'exception des bois et du cuir sur rails mouillés ou huilés, dans lequel, d'ailleurs, le coefficient du frottement au départ est sensiblement

(1) C'est ce que j'avais été déjà conduit à conclure dans mon précédent mémoire.

le double exact de k, tandis qu'il est rigoureusement égal à k lui-même dans toutes les autres circonstances de mes expériences;

γ, hauteur au-dessus de l'axe des abscisses de l'asymptote parallèle à cet axe, représente la limite inférieure vers laquelle tend la valeur de c à mesure que la vitesse augmente;

a est le coefficient dont la valeur plus ou moins grande, avec celle plus ou moins grande de $(k-\gamma)$, détermine la forme plus ou moins profondément infléchie de la courbe représentative du frottement.

Dans aucune des circonstances de mes expériences, l'ensemble des résultats d'observation obtenus n'a pu être aussi bien représenté par la formule précédente, en y admettant $\gamma = 0$ (et par conséquent $c = \frac{k}{1+a.v}$ tout simplement), qu'en y donnant à γ une certaine valeur, plus ou moins grande d'ailleurs suivant les circonstances.

Les courbes correspondant à $\gamma = 0$ n'étaient jamais assez profondément infléchies, dans leurs parties correspondant aux petites vitesses, pour épouser convenablement la forme des courbes mises en évidence par la représentation graphique des expériences, même dans le cas du frottement des roues calées, contrairement à ce qui m'avait semblé résulter, au moins dans ce cas, des expériences relatées dans mon précédent mémoire, expériences trop peu nombreuses et trop peu variées pour valoir à elles seules contre mes dernières, dans lesquelles d'ailleurs elles rentrent complétement, faisant nombre avec elles.

Au surplus, dans mon précédent mémoire j'avais prévu la possibilité de ce fait, et j'avais indiqué la formule ci-dessus comme pouvant convenir à la représentation du phénomène, de préférence à la formule plus simple... $c = \frac{k}{1+a.v}$.

3. Mode de détermination des valeurs *numériques* à admettre pour les coefficients k, γ, a. suivant les circonstances.

1° *Pour le coefficient* k.

La valeur *numérique* à donner à k, dans la formule précédente, pour chaque ensemble distinct de circonstances, ressort directement, et sans aucune déduction par le calcul, de la représentation graphique des résultats expérimentaux que j'ai obtenus.

Pour chaque ensemble distinct de circonstances, au moins *pratiquement* appréciables et définissables, k n'a jamais eu une valeur *unique*, mais bien des valeurs *diverses* comprises entre un *maximum* et un *minimum*, qui ont d'ailleurs été plus ou moins éloignés l'un de l'autre; seulement il y a eu généralement un *groupe* plus *condensé* de ces valeurs dans une certaine région, entre la valeur maxima et la valeur minima obtenues, groupe dont on peut déduire une valeur qui peut être appelée la valeur *moyenne* de k dans l'ensemble de circonstances en question, bien que cette valeur ne soit pas pour cela, d'ordinaire, la moyenne *arithmétique* entre les valeurs extrêmes de k.

2° *Pour les coefficients* γ *et* a.

Pour ce qui est des valeurs *numériques* à donner aux coefficients γ et a, dans chaque ensemble distinct de circonstances, elles ne ressortent plus *directement*, comme celles à donner à k, des résultats expérimentaux obtenus. On ne peut les déterminer que par le *calcul*, en achevant même la détermination par un peu de *tâtonnement*, de manière que les arcs hyperboliques qui leur correspondent épousent *le mieux possible* les formes des courbes maxima, minima, et moyennes, mises en évidence par la représentation graphique des résultats des observations.

Les valeurs de γ et de a ne peuvent d'ailleurs s'obtenir que *simultanément*, et il y a toujours un peu d'*incertitude* entre plusieurs systèmes de valeurs simultanées de ces deux coefficients, qui pourraient convenir à peu près également. Tout en me décidant pour

un seul de ces systèmes, dans chaque cas particulier, de manière à concilier à la fois, le mieux qu'il m'a paru possible, l'exactitude spéciale et l'harmonie générale, je ne puis évidemment donner pour absolument rigoureuses les valeurs que j'ai adoptées pour γ et pour a. Tout ce que je puis assurer, c'est que les systèmes de valeurs simultanées, auxquels je me suis arrêté pour ces deux coefficients, représentent bien, au double point de vue que je viens d'indiquer, les résultats expérimentaux que j'ai obtenus, dans les limites où j'ai pu opérer, sans avoir aucunement la prétention de représenter l'exacte réalité au delà de ces limites, et particulièrement, pour γ, de représenter ce qui arrive à une vitesse infinie ou seulement même excessivement grande.

4. Valeurs *numériques* des trois coefficients du frottement. *Figures représentatives.*

Cela dit, je ne puis mieux faire que de renvoyer aux *figures* annexées à ce mémoire (Pl. II, III et IV) pour donner les valeurs *numériques* que j'ai été conduit à adopter pour les coefficients k, γ, a, dans les diverses circonstances de mes expériences. Les valeurs de k y sont naturellement données par les positions des points de départ des courbes en traits pleins sur l'ordonnée correspondant à l'abscisse o. Les valeurs de γ y sont marquées par les positions des petites portions de droites, en traits pleins, tracées à la suite des courbes et reliées à elles par un pointillé, sur lequel est inscrite la valeur de a.

Je ferai seulement quelques remarques sur les valeurs des coefficients.

5. Remarques sur les valeurs du coefficient principal, k.

La valeur, ou plutôt le trio de valeurs (maxima, minima et moyennes), qu'il convient de prendre, dans chaque circonstance, pour k, coefficient principal du frottement, varie d'abord avec la *nature* de la matière frottante.

1° Dans le frottement du *fer*.

Ensuite, quand cette matière est du *fer*, il faut tenir grand compte de l'état de *rugosité* ou de *poli* plus ou moins parfait de sa surface. Mais de l'*étendue* de cette surface, la plupart du temps, il n'y a pas à se préoccuper, car elle est sans influence, à moins pourtant qu'elle ne cesse d'être relativement grande, autrement dit, à moins que la pression spécifique qui s'y exerce ne cesse d'être petite et ne dépasse 20 kil. par centimètre carré: alors, à mesure que la pression spécifique augmente, jusqu'à 100 kil. environ, k diminue; puis, à mesure que la pression spécifique augmente davantage, k se relève et augmente de plus en plus, et est remonté, pour les pressions spécifiques supérieures à 300 kil., au-dessus des valeurs qui correspondent aux faibles pressions spécifiques. Du moins cette dernière circonstance se produit toutes les fois que les rails sont secs ou plus ou moins mouillés d'eau simplement, ce qui est tout à fait indifférent pour la valeur de k dans le frottement du fer. Mais quand les rails sont huilés, k paraissant avoir, sous les faibles pressions spécifiques (jusqu'à 20 kil.), exactement les mêmes valeurs que sur rails secs ou simplement mouillés (au moins quand la surface frottante n'est pas encore bien polie, dans un cas comme dans l'autre), sa valeur descend beaucoup plus rapidement et plus bas quand la pression spécifique augmente (avant même que le poli ait pu commencer à se produire beaucoup), et elle n'a pas encore manifesté de tendance au relèvement quand la pression spécifique est arrivée à 500 kil.

Dans tout frottement du fer, en toutes circonstances, les valeurs qui conviennent pour k représentent exactement le coefficient du frottement au départ.

2° Dans le frottement du *bois*.

Quand la matière frottante est du *bois*, la circonstance qui a le plus d'influence sur la valeur de k

est l'*état* des rails, contrairement à ce qui a lieu pour le fer.

Contrairement encore à ce qui a lieu pour le fer, le poli ne joue plus grand rôle sur le bois, et cela se conçoit aisément en raison, d'une part, de la beaucoup plus grande plasticité du bois, qui ne le laisse jamais aussi rugueux sous pression que le fer peut y rester, et d'autre part en raison de son incapacité à prendre jamais un aussi beau poli (excepté pourtant un peu sous l'influence de l'huile).

a. Sur rails secs.

Sur rails *secs*, auxquels correspondent les plus grandes valeurs de k, la *nature* du bois, ou son *état* de sécheresse ou de verdeur exercent une certaine influence. L'*étendue* de la surface frottante, ou plutôt la pression *spécifique*, en exerce une aussi, comme dans le cas du fer et tout à fait analogue, mais plus accusée. Cette influence reste encore insensible tant que la pression spécifique reste très-petite; mais dès que cette pression spécifique dépasse 6 kil. par centimètre carré, la valeur de k commence à diminuer sensiblement, et elle semble (autant qu'on en peut juger par un petit nombre d'observations) commencer à se relever dès que la pression spécifique dépasse 35 kil., et continuer à augmenter de plus en plus à mesure que la pression spécifique augmente au delà de cette valeur, jusqu'à la valeur observée de 140 kil., mais sans avoir réatteint alors sa valeur sous les petites pressions spécifiques.

Dans tout frottement de bois sur rails secs, les valeurs qui conviennent pour k représentent encore exactement le coefficient du frottement au départ.

b. Sur rails mouillés.

Sur rails *mouillés*, k est toujours beaucoup plus faible que sur rails secs, surtout quand, au lieu d'eau simplement, c'est une sorte de cambouis aqueux, interposé

entre le rail et le bois, qui adoucit le frottement. Mais, dans les deux cas, la pression spécifique (au moins jusqu'à 15 kil. par centimètre carré) n'a plus d'influence, non plus que l'état de sécheresse ou de verdeur du bois, ni que son essence, sauf dans le cas où le bois est *résineux* et glisse sur rails mouillés d'eau *simple* (et non cambouisée), auquel cas le frottement s'est montré plus énergique qu'avec les bois ordinaires.

Sur ces rails mouillés, d'ailleurs d'eau simple ou cambouisée, la valeur du coefficient de frottement de tous les bois, au départ, a toujours été *double* de la valeur de k.

c. Sur rails huilés.

Sur rails *huilés*, le bois prend, au fur et à mesure qu'il glisse, un poli relatif.

Au début du glissement, avant que ce poli se soit produit, la valeur de k est plus faible que sur rails mouillés d'eau simple, mais de même ordre qu'avec l'eau cambouisée; seulement, tandis qu'avec cette eau l'influence de la pression spécifique est nulle, elle ne paraît plus l'être avec l'huile, et k semble diminuer à mesure que cette pression augmente au moins depuis 4 jusqu'à 10 kil. par centimètre carré (c'est quelque chose d'analogue à ce qui se manifeste pour le fer sur rails huilés). A mesure que le poli se produit et augmente, k diminue de plus en plus.

Sur rails huilés, la valeur du coefficient de frottement du bois au départ a été, comme sur rails mouillés, *double* de la valeur de k.

3° Dans le frottement du cuir et de la gutta-percha.

Dans le petit nombre d'observations que j'ai faites avec le *cuir*, cette substance s'est comportée de manière à sembler devoir être rangée tout à fait à côté des bois tendres sous tous les rapports.

La *gutta-percha* également, mais sur rails secs seulement : sur rails mouillés, son frottement au départ a bien été de même ordre que ceux des bois; mais son frottement, dès que le départ a été effectué, n'est plus tombé, comme pour les bois et le cuir, à une valeur moitié moindre; il est au contraire resté le même qu'au départ, comme pour le bois et le cuir sur rails secs et pour le fer sur tous rails.

6. Remarques sur les valeurs 1° *Du second coefficient*, γ

Le second coefficient, γ, représente à peu près ce qu'est le frottement à très-grande vitesse, quoique toujours plus ou moins faiblement, puisque γ est une limite inférieure, mais une limite dont le frottement s'est beaucoup approché, en général, à la vitesse de 25 mètres par seconde.

Sans suivre tout à fait, dans ses détails, le mode de variation du coefficient principal k, suivant les circonstances, le second coefficient γ suit pourtant ce mode, en général, dans son ensemble.

La différence la plus saillante et la plus intéressante à remarquer sous ce rapport, c'est que l'influence de la pression spécifique s'accuse davantage sur γ que sur k dès les petites pressions (inférieures à 6 kil. par centimètre carré); non pas, il est vrai, dans les petits, ni même dans les moyens, mais dans les grands frottements (de bois sur rails secs).

2° *Du troisième coefficient, a.*

Quant au troisième coefficient, a, — dont la valeur, simultanément avec celle de $(k-\gamma)$, détermine la plus ou moins grande rapidité de diminution du frottement quand on passe des très-petites vitesses à des vitesses plus grandes,—il a varié, dans mes expériences, de 0,1 à 0,6 (les vitesses étant exprimées en mètres par seconde), et il ne ressort des résultats que j'ai obtenus absolument aucune loi de variation de ce coefficient, qui

semblerait même se modifier, d'un cas à l'autre, avec une grande irrégularité.

Du reste, je rappelle, à cette occasion, qu'en raison de la manière dont il a pu être obtenu (V, 3, 2°), il règne assurément de l'*incertitude* sur la véritable valeur *précise* qui convient à ce coefficient, aussi bien qu'au coefficient γ, dans chaque circonstance en particulier.

On peut admettre, pour ce coefficient, une valeur *constante*.

Pour ces motifs, et dans le but de *simplifier* la formule sans nuire pourtant beaucoup et plus qu'il ne convient à son exactitude, on peut adopter uniformément pour a, dans toutes les circonstances, la valeur 0.3, en modifiant en conséquence les valeurs de γ, et quelquefois aussi un peu celles de k, de manière que les courbes correspondantes ne s'écartent que le moins possible de celles qui résultent rigoureusement de l'observation.

J'ai tracé, sur les figures représentatives du frottement, annexées à ce mémoire (Pl. II, III et IV), les courbes *modifiées*, correspondant à $a = 0.3$, en traits interrompus. Les valeurs de γ qu'elles supposent sont marquées par la position des petites portions de droites en traits semblables, reliées d'ailleurs par un pointillé à leurs correspondantes non modifiées. Les nouvelles valeurs de k sont toujours naturellement indiquées par les points de départ des nouvelles courbes sur l'ordonnée correspondant à l'abscisse o.

On aurait alors, pour représenter le frottement, la formule générale

$$f = p\left(\frac{k-\gamma}{1+0{,}3.v}+\gamma\right)$$

dans laquelle v devra être expressément évaluée en mètres par seconde.

Cette formule peut être considérée comme suffisamment exacte, en général, pour la pratique.

7. CONCLUSION.

En somme, on voit que le frottement, malgré ses variations si nombreuses et en apparence si capricieuses, peut être représenté, d'une manière générale et suffisamment approchée, par une formule en définitive assez simple, soit qu'on y laisse le coefficient a susceptible de diverses valeurs, soit qu'on adopte pour lui la valeur constante 0,3.

Quant aux coefficients k et γ, leurs valeurs, certainement et essentiellement variables suivant les circonstances, dépendent plus ou moins :

1° Des matières qui glissent l'une sur l'autre ;

2° Du degré de poli de leurs surfaces frottantes ;

3° De la non-existence ou de la présence d'un enduit entre ces surfaces et de la nature de cet enduit ;

4° De la valeur de la pression spécifique sous laquelle s'accomplit le glissement.

Il est clair que les trois premières influences ne sont pas susceptibles d'être mesurées en nombres et qu'on ne peut en conséquence donner de loi *précise* et *formulée* de variation de k et de γ avec ces influences ; on ne peut que donner des *séries* de valeurs *numériques* de k et de γ, se rapportant à des circonstances, conditions et états définis et connus autant que possible, comme le font les figures annexées à ce mémoire (Pl. II, III et IV).

Mais il n'en est pas de même pour la quatrième influence. La pression spécifique se mesure en nombres précis, et l'on conçoit dès lors que la variation du frottement ou, plus précisément, de ses deux coefficients k et γ (qui seuls paraissent varier avec la pression spécifique) soit exprimable et formulable en fonction de cet élément.

Les résultats d'observation que j'ai obtenus, dans mes expériences, sont insuffisants pour permettre de

formuler les coefficients k et γ en fonction de la pression spécifique, d'abord parce qu'ils ne sont pas d'une précision assez certaine, en raison de l'influence qu'a pu exercer l'élasticité de la voie (IV, 5), ensuite parce qu'ils ne sont pas assez nombreux, précisément pour les pressions spécifiques auxquelles correspondent les variations les plus marquées du frottement, pour qu'on en puisse tirer des conséquences d'une généralité suffisante.

Mais, tels qu'ils sont, ils n'en fournissent pas moins des indications intéressantes.

Je les ai rassemblés dans la *fig.* 7 (Pl. IV), dressée en prenant les pressions spécifiques pour abscisses, et pour ordonnées les valeurs de k et de γ dans diverses circonstances.

L'examen de cette figure démontre que, si l'élasticité de la voie a pu avoir de l'influence, elle ne peut avoir eu celle de transformer des lignes droites parallèles à l'axe des abscisses (correspondant au cas où les variations de la pression spécifique seraient absolument et toujours sans influence) en courbes présentant, dans leur ensemble et dans leurs particularités, des formes comme celles qui se sont manifestées ; et que, si ces courbes ne représentent pas les véritables variations du frottement avec la pression spécifique seule, au moins est-il *bien certain* que ces variations sont *très-réelles* et que leur loi *précise* et générale reste *seule* à déterminer par une étude *spéciale*.

Cette loi paraît même devoir être moins simple que celle de la variation du frottement avec la vitesse : il ne semble pas qu'on puisse la représenter, comme celle-ci, par une courbe élémentaire, car sa courbe représentative paraît avoir des inflexions. Mais il serait prématuré de vouloir trop préjuger sur ce sujet.

VI.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL ET CONCLUSIONS.

En définitive et en résumé, j'ai, si je ne me trompe, établi dans ce mémoire que

Variation du frottement avec la vitesse. Mode de cette variation.

1° Le frottement varie toujours, plus ou moins d'ailleurs, avec la vitesse de glissement, diminuant à mesure que cette vitesse augmente; ce qu'on s'explique aisément et d'une manière satisfaisante par des considérations simples sur les causes mêmes du frottement (IV, 4). Sa variation avec la vitesse s'effectue suivant une loi générale assez simple, exprimable, au moins avec une approximation suffisante, par la formule

Formule représentative.

$$f = p\left(\frac{k-\gamma}{1+a.v}+\gamma\right)$$

dans laquelle

p représente la pression totale sous laquelle s'accomplit le glissement;

k et γ sont deux coefficients variables séparément avec les circonstances, la valeur de k étant toujours plus ou moins supérieure à celle de γ;

a est un troisième coefficient, peut-être un peu variable, mais alors suivant une loi encore complétement inconnue et même pas du tout entrevue, mais peut-être aussi constant, et, en tout cas, pouvant être pris constant avec une approximation suffisante pour la pratique, et alors égal à 0,3 quand la vitesse v est exprimée en mètres par seconde.

Variation du frottement avec la pression. Aperçu du mode de cette variation.

2° Il n'est pas absolument et tout à fait généralement exact de dire que le frottement soit indépendant de l'étendue superficielle frottante, et par conséquent varie proportionnellement à la pression sous laquelle il

se produit. Sans doute cette loi accréditée de la proportionnalité rigoureuse du frottement à la pression, et, par suite, de son indépendance de la superficie frottante, est sensiblement exacte tant que la pression spécifique (ou par unité de superficie frottante) reste dans les très-petites valeurs; mais, quand il n'en est pas ainsi, la loi accréditée cesse d'être l'expression de la vérité. Cette expression est, du reste, encore à trouver sous sa forme précise, et je n'ai pu arriver, dans les conditions où j'ai opéré, qu'à un aperçu du mode de variation du frottement avec la pression (IV, 5).

3° Les coefficients k et γ de la formule ci-dessus sont des fonctions de la pression spécifique sous laquelle s'accomplit le glissement, c'est-à-dire du rapport de la pression totale à la superficie frottante totale; fonctions dont la forme précise est encore à trouver et ne semble pas devoir être tout à fait simple, d'après les indications que j'ai obtenues sur la variation de k et de γ avec la pression spécifique (V, 7).

Autres circonstances influant sur la valeur du frottement.

4° Les coefficients k et γ varient d'ailleurs séparément avec les matières qui glissent l'une sur l'autre, le degré de poli de leurs surfaces frottantes, la non-existence ou la présence d'un enduit entre ces surfaces et la nature de cet enduit, en même temps qu'avec la pression spécifique sous laquelle s'accomplit le glissement. On ne peut donner que des séries de valeurs numériques de k et de γ, se rapportant à des circonstances, conditions et états définis et connus autant que possible. J'en ai donné un assez grand nombre, qui résultent d'observations expérimentales positives, et sont contenues dans les figures annexées à ce mémoire (V, 4 et 6, 2°).

5° Les valeurs des coefficients k et γ, et par conséquent du frottement, ne sont pas uniques dans un même ensemble de circonstances, au moins pratiquement appréciables et définissables, mais varient, chacune séparément, entre un maximum et un minimum; seulement elles se reproduisent plus ordinairement au voisinage d'une valeur intermédiaire qu'on peut appeler leur valeur moyenne, ou plutôt encore habituelle, car elle n'est pas la moyenne arithmétique entre leurs valeurs extrêmes, et l'expression de valeur moyenne pourrait tromper.

Il n'y a pas, en général, de frottement spécial au départ.

6° Il n'y a pas, en général, de frottement spécial au départ, et l'opinion, d'ailleurs très-répandue, qui admet son existence dans tous ou presque tous les cas, provient d'une illusion qui s'explique facilement (IV, 8). Les valeurs du coefficient k conviennent donc, en général, non-seulement pour le frottement à vitesse infiniment petite, mais aussi bien, et tout à fait exactement, pour le frottement au départ.

Cas d'exception.

Pourtant, dans certaines circonstances, il y a bien certainement frottement spécial au départ, et même d'une manière très-prononcée. Ainsi, dans mes expériences, il y a eu frottement spécial au départ des bois et du cuir sur rails avec enduit aqueux ou gras, et le coefficient de ce frottement a même été sensiblement double de k. Mais dans toutes les autres circonstances, bois, cuir, gutta-percha, sans enduit, et même gutta-percha sur rails mouillés, fer à tous états, avec ou sans enduit, il n'y a pas eu de frottement spécial au départ.

Frottements les plus énergiques, des bois, du cuir, et de la gutta-percha, à sec.

7° Les frottements les plus énergiques ont été, dans mes expériences, ceux des bois, et surtout des bois tendres, du cuir et de la gutta-percha, sur rails secs, sans enduit. k s'y est quelquefois élevé jusqu'à 0,70,

sans y avoir jamais été au-dessous de 0,40; on peut dire que, le plus souvent, il a été de 0,60 pour les bois tendres et de 0,55 pour les bois durs.

Frottement du fer.

Le frottement du fer a toujours été moindre. Il est vrai qu'exceptionnellement, quand le fer était à surface très-grossière et rugueuse, k s'est élevé jusqu'à 0,60; mais il n'a pas été habituellement, dans les mêmes circonstances, de plus de 0,40, et est quelquefois descendu jusqu'à 0,25.

Quand le fer était à surface polie, même imparfaitement, k ne s'est jamais élevé au-dessus de 0,40; il n'a pas été habituellement de plus de 0,20 à 0,30, et il est quelquefois descendu jusqu'à 0,17 et même 0,12.

Il a d'ailleurs été indifférent sur le frottement du fer que les rails fussent secs ou mouillés, voire même huilés, sauf, dans ce dernier cas, lorsque la superficie frottante était relativement petite, autrement dit quand la pression spécifique était grande; alors le coefficient de frottement du fer avec enduit gras était très-diminué.

Frottement du bois, etc. avec enduit, aqueux ou gras.

Si la présence ou la non-existence d'un enduit a été indifférente en général sur le frottement du fer, elle ne l'a pas été sur le frottement des bois, du cuir, de la gutta-percha. La présence d'eau simple a diminué leur frottement, plus ou moins d'ailleurs, moins pour le bois résineux que pour les bois ordinaires, beaucoup moins encore pour la gutta-percha. La présence d'un enduit gras (eau cambouisée ou huile) a diminué encore plus le frottement des bois et du cuir, et a fait tomber k habituellement à 0,16, quelquefois seulement à 0,20, mais quelquefois aussi jusqu'à 0,05. Du reste, la présence de l'huile a d'autant plus diminué le frottement du bois, comme du fer, que la superficie frottante était relativement plus petite, autrement dit que la pression spécifique était plus grande.

Rôle principal des enduits gras.

Dans les deux cas, de fer et de bois, l'enduit gras a d'ailleurs toujours favorisé beaucoup la prompte et rapide production du poli, et en conséquence la diminution du frottement par ce fait. C'est principalement ainsi, et par conséquent indirectement, que les enduits gras paraissent surtout agir pour adoucir les frottements.

Circonstances qui diminuent et tendent à uniformiser le frottement.

C'est surtout au départ et à toute petite vitesse que les frottements diffèrent beaucoup les uns des autres, suivant les circonstances. A mesure que la vitesse devient plus grande, les différents frottements, en diminuant tous, ordinairement d'autant plus qu'ils sont plus grands, vont, en général, se rapprochant les uns des autres. Ce rapprochement dans la diminution commune a lieu aussi d'autant plus que les surfaces frottantes sont plus polies, ce qui se produit d'ailleurs et se maintient d'autant mieux que ces surfaces sont mieux lubrifiées par un enduit gras. Aussi peut-on dire que toutes les matières bien polies, convenablement lubrifiées, glissant vite l'une sur l'autre, d'ailleurs sous une pression spécifique modérée, ont à peu près le même coefficient de frottement, très-petit. Mais en dehors de cet ensemble de conditions tout spécial, rien n'est plus variable que le frottement avec les circonstances (nature des matières glissant l'une sur l'autre, poli plus ou moins parfait de leurs surfaces, enduit et sa nature, pression spécifique, enfin vitesse), variant même, et souvent beaucoup, dans un même ensemble de toutes ces circonstances.

En dehors de ces circonstances *spéciales*, le frottement est très-variable.

Figures représentatives du frottement.

J'ai donné toutes les valeurs diverses que j'ai trouvées au frottement dans les différentes circonstances de mes expériences, et je l'ai fait, pour plus de clarté, de netteté, de précision et de concision à la fois (III, 8, dernier paragraphe), dans de nombreuses figures représentatives (Pl. II, III et IV), sur lesquelles j'ai marqué toutes les indications nécessaires pour les applications et pour l'emploi numérique de la formule (V, 4 et 6, 2°, dernier paragraphe).

Figure spéciale pour la pratique.

Mais, comme les données contenues dans tout cet ensemble de figures, à côté de l'avantage qu'elles présentent d'être tout à fait rigoureuses et précises, ont en même temps l'inconvénient (inséparable de cet avantage) d'être extrêmement complexes, il m'a paru indispensable *pour la pratique* (qui n'a pas besoin de tant de précision et de rigueur, mais qui a besoin de simplicité) de réduire les résultats de mes observations au moindre nombre possible, en faisant abstraction des distinctions trop délicates, que l'exactitude absolue réclame seule, et en me bornant aux grands traits. C'est ce que j'ai cherché à faire dans une dernière figure (Pl. IV), qui met en évidence les résultats de mes expériences les plus saillants et les plus importants pour les *praticiens*, avec indication des circonstances principales dans lesquelles ces résultats conviennent et dont il est le plus essentiel de tenir compte dans les applications, pour n'y pas faire gravement erreur.

Causes générales du frottement. *Explication de ses lois.*

Les résultats que j'ai obtenus dans mes expériences se conçoivent et s'expliquent même généralement bien, sauf quelques particularités de détail, par la considération des trois causes générales suivantes du frottement et de la manière dont elles doivent agir, à savoir : attraction moléculaire, aspérités des surfaces, arrachement particulaire ou usure qui en résulte pendant le glissement ; et les quelques particularités dont on ne se rend pas compte n'infirment point pour cela les

hypothèses et explications qui rendent un compte facile et satisfaisant des autres.

L'avenir, en complétant la connaissance des phénomènes et des lois du frottement, permettra sans doute aussi de compléter leur théorie et leur explication.

NOTE

SUR LE FREIN DE M. FRÉDÉRIC DIETZ.

Par M. E. ROGER, ingénieur des mines.

Il n'est peut-être pas de question qui, depuis l'origine des chemins de fer, ait provoqué à plus de tentatives diverses l'esprit d'invention, même chez les personnes peu familières avec les lois fondamentales de la mécanique, que la question des freins. On conçoit, en effet, qu'il y a là un intérêt de premier ordre à satisfaire, un intérêt devant lequel bien des considérations accessoires doivent s'effacer : celui de la sécurité des voyageurs. Beaucoup de systèmes ont été proposés et essayés, et cependant le frein primitif, c'est-à-dire, à très-peu de chose près, l'ancienne *mécanique* des diligences, a survécu à toutes les combinaisons, malgré les inconvénients trop évidents qu'il présente.

Le plus grave de ces inconvénients est sans contredit la lenteur de la manœuvre. Cette lenteur est, dans certains cas, il faut le reconnaître, un avantage; un enrayage lent ou même imparfait doit produire, en règle générale, sur le matériel roulant et sur la voie, un effet destructeur beaucoup moins intense qu'un enrayage complet obtenu très-rapidement. Le frein de M. Frédéric Dietz, que nous nous proposons de faire connaître, et qui a été expérimenté avec succès pendant plusieurs mois sur le chemin de fer du Dauphiné, réalise, on en jugera, la double condition de pouvoir produire à volonté un enrayage presque instantané ou un enrayage progressif.

Principe sur lequel est fondé le frein Dietz.

Le principe sur lequel est fondé le frein de M. Dietz n'est pas nouveau. Il consiste à transporter aux tenders et aux wagons, en le rendant, pour ainsi dire, *locomobile*, le frein *fixe* si universellement connu dont on se sert notamment dans la manœuvre des grues. La réalisation de cette idée a déjà été tentée, mais sans qu'on ait obtenu un succès complet (1). C'est qu'en effet, si simple que soit l'idée en elle-même, le choix et la disposition des mécanismes à employer n'en présente pas moins de graves difficultés. On jugera comment M. Dietz les a surmontés.

Description succincte du mécanisme.

Le frein de M. Dietz se compose essentiellement d'une lame d'acier faisant courroie et d'une poulie en fonte fixée à la circonférence de la roue, dans l'intérieur de la voie, et recouverte d'une bande d'acier de 10 millimètres d'épaisseur.

Au moyen d'une transmission à vis identique à celle qui est en usage pour les freins ordinaires, la bande d'acier vient se serrer contre la circonférence de la poulie qu'elle embrasse sur un très-grand arc. Il est aisé de concevoir, et l'expérience le vérifie, que l'enrayage, dans ces conditions, doit se produire au gré du garde-frein, d'une manière beaucoup plus rapide et plus complète et avec beaucoup moins d'effort qu'avec le frein ordinaire. Celui-ci, en effet, ne s'adapte qu'imparfaitement à la roue et sur un très-petit arc; en outre, les réactions que la marche développe tendent à le desserrer ou, pour mieux dire, à le maintenir dans un état d'oscillation tel que l'adhésion peut très-difficilement être rendue constante. Rien de pareil ne se produit avec le frein de M. Dietz.

(1) On a expérimenté sur le chemin d'Auteuil un frein fondé sur le même principe que celui de M. Dietz. Il consistait essentiellement en une bande de friction appliquée directement sur la demi-circonférence supérieure de la roue.

Le constructeur avait à résoudre un problème très-délicat : assurer, lorsque le frein est desserré, l'écartement de la courroie en remédiant aux changements que les variations dans la charge du wagon apportent nécessairement dans la position du mécanisme. On peut étudier sur la Pl. I, *fig.* 5 et suivantes, le détail des appareils simples et ingénieux par lesquels le but est atteint.

Nous dirons seulement ici, en quelques mots, que l'écartement de la courroie est maintenu à l'aide d'un ressort qui presse contre un guide ajusté à la lame d'acier; ce ressort, lié invariablement à la boîte à la graisse, maintient le guide de la lame constamment appliqué contre un levier compensateur, dont le jeu est calculé de manière à reporter de bas en haut la moitié de l'abaissement de niveau qu'un accroissement de charge tendrait à produire. Le même ressort résiste, pendant le serrage du frein, à l'entraînement que le mouvement des roues exerce sur la lame d'acier.

Expériences faites sur le frein de M. Dietz.

Il n'est pas douteux que l'action du frein Dietz ne puisse être rendue aussi lente qu'on peut le désirer; il suffit pour cela que le garde-frein n'agisse qu'avec la lenteur voulue sur l'appareil de transmission. Mais, d'autre part, peut-on avec ce frein réaliser, non pas cette instantanéité absolue d'action qui n'est ni désirable ni même possible, parce qu'elle produirait sur le matériel roulant un effet absolument destructeur, mais du moins une rapidité d'enrayage qui s'approche, autant qu'on peut le souhaiter, de cette limite idéale? Telle est la question essentielle que nous nous sommes attaché à résoudre, en soumettant l'appareil Dietz à une série d'expériences où nous avons fait varier à des-

sein la charge du wagon, sa vitesse, le profil du chemin, en notant à chaque fois l'état de sécheresse des rails.

Le wagon expérimenté était poussé par une locomotive qui l'abandonnait à lui-même en un point noté à l'avance.

Un chronomètre à seconde permettait d'observer le temps employé à dépasser successivement les poteaux télégraphiques placés sur la voie de 50 en 50 mètres; d'où l'on concluait la vitesse du wagon à chaque instant de sa marche. A un signal donné, le frein était serré; on observait ensuite le temps nécessaire à l'arrêt complet et l'espace parcouru par le wagon à partir du signal d'arrêt.

Le tableau ci-après donne le détail des expériences faites, en élaguant celles où diverses circonstances ont fait obstacle, non pas au jeu du frein, mais à la mesure exacte des éléments de l'observation. Les observations 5 et 6 ont été faites avec le frein ordinaire.

NUMÉROS D'ORDRE.	Poids total du wagon.	VITESSE par seconde.	VITESSE par heure.	Pression dans la chaudière.	Profil du chemin.	Espace parcouru.	Temps écoulé.	OBSERVATIONS.
	ton.	m.	k.	atm.		m.		
1. Frein Dietz. . .	5	5,5	20	7	palier.	9	4″	Rails secs, vent faible.
2. *Id.* . . .	5	8,5	31	7	palier.	20	6	
3. *Id.* . . .	10	12,0	43	7 1/2	+ 0,005	35	8	
4. *Id.* . . .	10	15,0	54	7 1/2	+ 0,005	49	10	Rails très-secs, vent faible.
5. Frein ordinaire.	16	15,0	54	7 1/2	+ 0,005	110	18	
9. *Id.* . . .	10	16,0	58	7 1/2	+ 0,005	120	19	

Considérations théoriques.

Nous ne dissimulerons pas que les résultats ci-dessus nous ont causé d'abord quelque surprise. Il paraît presque impossible, en effet, de les concilier avec ce que la théorie indique relativement au parcours minimum nécessaire pour l'arrêt d'un wagon supposé in-

stantanément enrayé avec une vitesse initiale connue. MM. Piobert, Combes et Couche ont donné dans les *Annales des mines* la formule suivante, qu'on déduit immédiatement du principe des forces vives, en admettant que la résistance opposée au mouvement par le frottement de glissement soit indépendante de la vitesse :

$$\frac{1}{2g}\left(P + p\frac{K^2}{r^2}\right)V^2 = fPe. \quad (1)$$

Dans cette formule, P est le poids du wagon (ou du train), p celui des parties tournantes (roues et essieux), r leur rayon, k leur rayon de giration, V la vitesse à l'instant de l'enrayage, f le coefficient du frottement des jantes sur les rails, e l'espace nécessaire à l'arrêt du train. Et de là, en prenant avec MM. Piobert, Combes et Couche :

$$p = \frac{1}{10}P, \quad \frac{K^2}{r^2} = 0.54 \quad \text{et} \quad f = 0.20,$$

on déduit :

$$e = 0.273\,V^2;$$

ce qui donne pour :

$$V = 10, \quad 15, \quad 20,$$
$$e = 27^m,30, \quad 61^m,425, \quad 109^m,20.$$

Cependant, en y réfléchissant, l'accord entre la formule précédente et le résultat de nos expériences paraît pouvoir s'établir sans difficulté, pourvu que l'on tienne compte de divers éléments que MM. Piobert, Combes et Couche ont négligé à dessein dans l'établissement d'une formule sommaire. De ces éléments, le plus important est l'influence, aujourd'hui mise hors de doute, de la vitesse sur la grandeur du coefficient de frotte-

(1) Rapport sur le frein automoteur de M. Guérin, par MM. Piobert, Combes et Couche. *Annales des mines*, t. X, p. 131.

ment. Il y aurait aussi à tenir compte de la résistance de l'air et, dans le cas où nous avons expérimenté, de l'action de la pesanteur. Laissant de côté ces deux termes, dont l'influence est peu sensible, bornons-nous à compléter la formule dans l'hypothèse du coefficient f variable avec la vitesse.

De nombreuses expériences faites en 1851, sur le chemin de fer de Lyon, par M. Poirée, et habilement interprétées par M. Bochet, ingénieur des mines (1), indiquent que la résistance au glissement peut être généralement représentée par la formule suivante :

$$f = \frac{K}{1 + \alpha v} P ;$$

dans laquelle P représente la pression qu'exercent les roues sur les rails, v la vitesse (en mètres par seconde), k un coefficient dont la valeur dépend uniquement de l'état des rails et doit être pris égal à 0.30 quand les rails sont à leur maximum de sécheresse, et descend jusqu'à 0.10 quand les rails sont mouillés ou couverts de givre, et enfin α un coefficient dont la valeur dépend du mode et des conditions du glissement, et qu'on peut, dans la pratique, prendre égal à 0.08 lorsque les roues glissent directement sur les rails.

Cette formule admise, le mouvement du véhicule, à partir du moment où l'enrayage, supposé presque instantané, est complet, sera donné par l'équation :

$$\frac{P}{g}\frac{dv}{dt} = \frac{f}{1 + \alpha v} P ;$$

d'où l'on déduit :

$$\frac{1}{g}(1 + \alpha v)dv = f\,dt,$$

(1) *Annales des mines*, tome XIII, p. 271 et suiv.

et en intégrant :

$$\frac{1}{2g}(1 + \alpha v)^2 = \alpha f t + \text{constante} ;$$

ce qui donne, pour le temps total T correspondant à une vitesse initiale V :

$$T = \frac{(1 + \alpha V)^2 - 1}{2 f g \alpha}. \qquad (A)$$

L'équation (A) va nous donner, par une nouvelle intégration, la valeur des espaces parcourus. On en déduit, en effet, en observant que $v = \frac{de}{dt}$:

$$1 + \alpha \frac{de}{dt} = (1 + 2 f g \alpha . t)^{\frac{1}{2}} ;$$

d'où :

$$E = \frac{1}{\alpha}\int_0^T [(1 + 2 f g \alpha . t)^{\frac{1}{2}} - 1]\,dt,$$

et par suite :

$$E = \frac{1}{2 f g \alpha^2}\int_0^T [(1 + 2 f g \alpha . t)^{\frac{1}{2}} - 1]\,d(1 + 2 f g \alpha . t),$$

$$E = \frac{1}{2 f g \alpha^2}\left(\frac{2}{3}[(1 - 2 f g \alpha . T)^{\frac{3}{2}} - 1] - 2 f g \alpha . T\right),$$

et l'élimination de T donne enfin :

$$E = \frac{V^2}{2 f g}\left(1 + \frac{2 \alpha V}{3}\right). \qquad (B)$$

En prenant $\alpha = 0$, ce qui revient à supposer f constant avec la vitesse, on retombe sur l'équation de la page 125, sauf l'addition du terme qui représente la destruction du travail accumulé dans les parties tournantes.

En résumé, la formule complète sera :

$$E = \frac{V^2}{2 f g}\left(1 + \frac{2 \alpha V}{3} + \frac{p}{P}\frac{K^2}{r^2}\right).$$

On en déduira, en prenant pour $\frac{p}{P}$, $\frac{K^2}{r^2}$ les valeurs indiquées ci-dessus $\frac{p}{P} = \frac{1}{10}$, $\frac{K^2}{r^2} = 0.54$ avec $f = 0.30$, valeur maximum de ce coefficient, et $\alpha = 0.02$:

$$E = 0.18V^2 + 0.0034V^3;$$

ce qui donne pour :

V =	10,	15,	20,
E =	21^m,	51^m,97,	99^m,20. (2)

Avantages et inconvénients du frein de M. Dietz.

En comparant ces derniers nombres avec les résultats de nos expériences et en tenant compte de la résistance de l'air et pour les expériences n° 3 et n° 4 de l'influence retardatrice de la pesanteur (*), on voit maintenant que ces résultats s'accordent de la manière la plus satisfaisante avec les limites que la théorie assigne pour le temps et l'espace nécessaires à l'arrêt complet d'un train.

De là il résulte que le frein de M. Dietz est aussi parfait, sous le rapport de la rapidité de son action, que peut l'être tout frein non automoteur. Cette rapidité

(*) Pour tenir compte de la pente, il suffit d'introduire dans le second membre de l'équation (1) le terme $Pe \times i$ (i étant la valeur de la pente exprimée en millièmes); ce qui revient à remplacer f par $f + i$. Si l'on prend $f = 0{,}20$, $i = 0{,}005$, on a $f + i = 0{,}205$. L'espace à parcourir doit être multiplié par $\frac{0{,}20}{0{,}205}$. Une correction du même ordre, appliquée aux chiffres de la série (2), donnerait 20^m,49 au lieu de 21 mètres; 50^m,70 au lieu de 51^m,97; 96^m,78 au lieu de 99^m,20.

Pour ce qui est de la résistance de l'air, on peut voir les formules données par M. Bochet, page 289 du mémoire déjà cité. La correction à introduire, tout compte fait, ramènerait les nombres de la série (2) respectivement à 20,09; 48,98; 90,87.

d'action ne dépend que de la vigilance et de l'attention du garde-frein.

A côté de cet avantage si essentiel, ce frein présente un inconvénient qui en est comme la contre-partie nécessaire. Manœuvré trop brusquement, il donne un calage subit et complet là où souvent, avec le frein ordinaire, un enrayage incomplet suffirait pour le ralentissement à obtenir; de là pour le matériel roulant une cause de détérioration. Cet inconvénient s'est surtout fait sentir dans les premiers temps de l'installation de ce nouveau système sur le réseau du Dauphiné. Habitués à un frein grossier, les gardes-freins avaient, si l'on peut dire ainsi, la main trop lourde pour un appareil aussi délicat.

Au total, il ne paraît pas que la détérioration des bandages doive marcher d'une manière plus rapide, à en juger par le résultat de l'épreuve faite sur un fourgon à bagages qui a été pourvu du nouveau frein dès le 1er décembre 1859, et qui a parcouru depuis lors 25.000 kilomètres.

Conclusions.

En résumé, nous croyons que le frein de M. Dietz réalise un véritable et important progrès sur le frein actuel. Qu'on suppose chaque voiture, y compris le tender, pourvue d'un pareil frein, manœuvré par un personnel attentif, et les rencontres de trains seraient désormais rendues, pour ainsi dire, impossibles aux vitesses habituelles. Cependant il ne peut échapper à personne qu'indépendamment de la dépense qu'entraînerait l'entretien d'un garde-frein par voiture, il reste encore les chances inséparables de l'intervention humaine. Peut-être serait-il possible de supprimer presque entièrement ces chances et de réduire l'intervention humaine à l'action du mécanicien, en combinant l'idée

de M. Dietz avec l'une des dispositions imaginées pour rendre les freins actuels *automoteurs*. Le mécanisme qui a été proposé par M. Guérin (1), notamment, paraît pouvoir s'adapter sans difficulté au frein Dietz. En tout cas, il nous semble que c'est dans cette voie que les constructeurs doivent chercher la solution définitive du problème.

(1) Voir le rapport déjà cité de MM. Piobert, Combes et Couche.

ÉTAT PRÉSENT

DE LA MÉTALLURGIE DU FER EN ANGLETERRE.

PAR

M. GRUNER, ingénieur en chef des mines, professeur de métallurgie à l'École impériale des mines,

ET

M. LAN, ingénieur des mines, professeur de métallurgie à l'École des mineurs de Saint-Étienne.

INTRODUCTION.

Depuis longtemps, on le sait, l'industrie des fers est inévitablement amenée à substituer, dans toutes ses opérations, le combustible minéral au combustible végétal.

Cette tendance, peu marquée dans les pays du Nord, où le bois est encore à bas prix, se manifeste en France, d'une façon très-évidente, depuis vingt-cinq à trente ans. Cependant, dans nos forges, la fabrication des fers au coke ne l'emporte définitivement sur celle des fers au bois qu'à dater de l'année 1853. Par contre, en Angleterre, les hauts fourneaux au bois disparaissent presque tous dès la fin du siècle dernier, et dès cette même époque, il se forme successivement, sur chacun des grands bassins carbonifères du Royaume-Uni, un important district de forges, dont le développement et le caractère spécial dépendent à la fois de a richesse du dépôt houiller et de sa situation, plus ou moins favorable, sous le rapport de l'écoulement de ses produits.

Districts houillers de l'Angleterre.

Ces districts houillers et ces groupes de forges sont au nombre de quatre :

Le district du *Sud-ouest*, dans le pays de Galles ;

Le district du *Centre*, divisé en deux branches : *Est* et *Ouest*, par la chaîne Pénine, l'épine dorsale de l'Angleterre ;

Le district du *Nord-est* ou de New-Castle, dans les comtés de Durham et du Northumberland ;

Et celui du *Nord* ou de Glasgow, en Écosse.

L'industrie du fer s'est développée d'abord dans le plus vaste de ces quatre districts, celui du Centre ; et comme sa situation, au cœur du royaume, rendait relativement onéreuse l'exportation des produits bruts, on s'y est appliqué surtout à obtenir des fers de qualité supérieure et à transformer ce fer lui-même en appareils, ustensiles et machines de toutes sortes. Tel est le but des industries si variées qui font la vie de Birmingham, Wolverhampton, Leeds, Sheffield, Oldham, Manchester, etc.

Dans le sud du pays de Galles, le voisinage de la mer, les grandes propriétés territoriales et la rareté de la population ont au contraire déterminé la création d'un nombre plus restreint d'établissements très-vastes, s'occupant spécialement de la fabrication du gros fer et des rails.

Au nord-est, autour de Newcastle et de Middlesboro', l'industrie des fers est dans des conditions qui diffèrent peu de celles du pays de Galles. On y voit un petit nombre de grandes usines fabriquant des rails, des tôles communes, du gros fer marchand et des moulages ordinaires, tels que tuyaux et coussinets de chemins de fer. La plupart des forges sont d'ailleurs, sur ce point, de date très-récente. Le plus grand nombre n'existait pas en 1848.

Enfin, dans le district du Nord, en Écosse, la nature spéciale des minerais et la situation exceptionnellement favorable des usines à conduit à la fabrication des fontes brutes de moulage pour l'exportation.

Éléments de succès des forges anglaises.

Les quatre groupes de forges dont nous venons de parler, quoique dans des conditions de fabrication assez différentes, lorsqu'on compare la nature, la qualité et la valeur des produits, ont cependant tous un élément de succès commun, *l'extrême bas prix du combustible*. C'est là, en définitive, l'unique secret de la métallurgie anglaise. Sa supériorité n'est réellement due ni à des procédés d'extraction mieux entendus, ni à une élaboration plus parfaite des minerais. Elle réside essentiellement dans la *grandeur* et *l'heureuse situation* de ses districts houillers.

D'une part, l'étendue si vaste des bassins carbonifères, en développant, entre les exploitants, la concurrence la plus large, a partout abaissé les prix de vente ; et, d'autre part, la proximité de la mer, en favorisant l'exportation sur une vaste échelle, a permis de grandir la production et de se contenter, par cela même, du plus minime bénéfice par tonne.

A cet élément si essentiel de succès viennent pourtant s'ajouter d'autres avantages. Nous devons citer l'abondance et le taux peu élevé des capitaux ; une population éminemment industrielle, hardie et persévérante par caractère, sachant marcher seule, sans réclamer en toutes choses le secours de l'État ; enfin un sol, généralement peu accidenté, heureusement disposé pour les voies de communication.

Presque toujours aussi, en ce qui concerne spécialement les fers, on mentionne, comme circonstance très-favorable, la présence du minerai et de la castine dans les houillères mêmes, et l'on fait ressortir, comme con-

séquence immédiate, le montant peu élevé des frais de transport dont seraient grevées les matières premières en Angleterre comparativement à ce qui se passe en France.

A cet égard cependant, l'erreur est grande, ou du moins il règne à ce sujet une sorte de malentendu. Les bassins houillers anglais ne renferment pas tous du minerai de fer; ceux de Newcastle et de Manchester en sont dépourvus, et celui du pays de Galles ne fournit pas la moitié du fer que produisent ses forges.

D'ailleurs, même là où le carbonate des houillères abonde, son prix de revient est élevé; en sorte qu'en réalité, comme nous le prouverons, les minerais de fer rendus en forge sont en moyenne plus chers en Angleterre qu'en France.

Il est d'autres éléments où la balance penche de même plutôt en faveur des usines françaises. Le taux de la main-d'œuvre y est moins élevé, la concurrence intérieure moins excessive, les tarifs des voies ferrées et des canaux moins lourds. D'autre part, la constitution de la propriété foncière en Angleterre, si différente à tous égards de la nôtre, est, selon les circonstances, tantôt fort gênante, tantôt très-favorable au développement de l'industrie métallurgique.

Il nous paraît important d'apprécier rapidement l'influence spéciale de chacun de ces éléments.

Division du travail.

Dans une première partie de notre travail, nous examinerons donc, d'une façon générale :

Les voies de transport;
La question de la main-d'œuvre;
La constitution de la propriété foncière;
L'organisation des sociétés industrielles;
La production houillère;

Les minerais de fer;
Et *les procédés généraux de fabrication.*

La deuxième partie de notre travail sera consacrée spécialement à :

La fabrication de la fonte.

La troisième à :

L'affinage de la fonte et à la fabrication des fers marchands (barres de toutes dimensions).

La quatrième à :

La fabrication des fers profilés et spéciaux (rails, fers de charpente, fers d'angle, etc., tôles, fers-blancs, verges, etc.).

Enfin la cinquième à :

La fabrication de l'acier.

Circonstances qui ont motivé ce travail.

Terminons cette introduction en disant les circonstances qui ont motivé ce travail.

Par ordre de S. Ex. M. le ministre des travaux publics, nous visitâmes, en mai et juin 1860, les divers districts sidérurgiques du Royaume-Uni.

Le but spécial de la mission, dont nous fûmes chargés, était l'examen de la situation économique des forges anglaises, en vue de compléter les documents fournis sur ce sujet par divers industriels, lors de l'enquête ouverte devant le conseil supérieur du commerce à l'occasion du récent traité, qui ouvre la France aux produits anglais.

Notre rapport officiel, rédigé à ce point de vue, fut remis à S. Ex. M. le ministre, fin juillet 1860. Sous cette forme, il ne pouvait être publié. D'une part, nous avions omis à dessein les détails techniques, et de l'autre, nous dûmes y insérer divers documents confidentiels, exclusivement communiqués en vue du but spécial de notre mission. Nous avons donc supprimé

les renseignements d'un caractère trop privé, qui n'auraient pu être livrés à l'impression sans inconvénient, et, par contre, notre premier travail a été complété par l'étude attentive des procédés techniques actuellement suivis.

Nous avons cherché, autant que possible, à comparer les conditions de la fabrication anglaise à celles des forges françaises, et de plus, nous nous sommes appliqués à constater, dans chacune des branches de l'industrie du fer, les progrès réalisés depuis les voyages entrepris par MM. Dufrénoy et É. de Beaumont, Coste et Perdonnet, il y a vingt-cinq à trente ans.

Mesures anglaises.

Pour faciliter la lecture de notre travail, rappelons en quelques mots les rapports des mesures françaises et anglaises. Les mesures de longueur et de superficie sont :

Le pied. . . = $0^{m},305$.
Le yard. . . = 3 pieds. . . . . = $0^{m},915$.
Le mille. . . = 1.769 yards. . . . . = 1.609 mètres.
L'acre. . . . = 4.840 yards quarrés = $0^{h},404$.
Le mille quarré. . . . . = 259 hectares.

Les poids sont de diverses sortes; l'unité légale est :

La *livre* (avoir du poids) qui vaut. . . . $0^{k},453$.

et les unités supérieures :

Le quintal. = 112 lb. . . . . = $50^{k},75$.
La tonne. . = 20 qt. = 2.240 lb. . = 1.015 kil.

Mais, outre ce quintal (*hundred weight*) (c w t) et la tonne, que l'on désigne sous le nom de *short weight* (petit poids), on se sert presque toujours aussi, dans les forges, du *long weight* (grand poids), qui se compose de :

Quintaux de 120 livres = $54^{k},36$,
et de tonnes de 20 qt. de 120 lb. = 2.400 lb. ou 1.087 kil.

Dans le Staffordshire et le pays de Galles, le quintal et la tonne (*long weight*) sont presque toujours employés dans la comptabilité proprement dite des forges et des mines, tandis que le quintal et la tonne (*short weight*) servent comme poids de vente dans le commerce des fers.

Dans les mêmes districts, pour tenir compte de certains déchets, les mines sont d'ailleurs bien souvent tenues de fournir des tonnes de houilles et de minerais de fer pesant :

21 qt. de 120 lb. = 2.520 lb.,
ou même 22 et 23 qt. de 2.640 ou 2.760 lb.

Nous prévenons d'ailleurs que lorsque nous parlerons de tonnes anglaises, sans mention spéciale, nous entendons toujours par là la tonne légale de 2,240 liv. (1,015 kil.).

On signalera particulièrement les cas où il est fait usage des tonnes plus fortes.

Ajoutons qu'en Écosse et dans le Cléveland, on ne se sert le plus souvent que de la tonne légale.

L'unité monétaire est le :

Shilling (*sh.*), qui vaut $1^{f},26$. Il se divise en 12 *pence* ou deniers (d.), dont l'un d'eux (*one-penny*) vaut $0^{f},10$.

20 sh. font une livre sterling (*pound*) (L.) valant $25^{f},20$.

Tous les comptes se tiennent en *pounds*, *shillings* et *pence*.

Pour l'intelligence des descriptions, nous ajoutons à notre travail une carte géologique et sidérurgique de l'Angleterre, dressée d'après celle de S. R. Murchison.

PREMIÈRE PARTIE.

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE L'INDUSTRIE DU FER EN ANGLETERRE.

CHAPITRE PREMIER.

VOIES DE TRANSPORT.

Les voies de transport sont plus nombreuses en Angleterre que nulle part ailleurs. L'intérieur du royaume est sillonné de canaux et de chemins de fer, tandis que la mer relie directement les centres principaux de production et de consommation, tels que Londres, Liverpool, Newcastle, Glasgow, Swansea, Cardiff, etc. Aux grandes voies publiques aboutissent d'ailleurs d'innombrables embranchements privés.

Quelle différence, sous ce rapport, entre la France et l'Angleterre, surtout lorsqu'on songe que chez nos voisins tout est abandonné à l'industrie privée! Il est vrai que si l'État ne fait rien, au moins il ne gêne pas les travaux des compagnies, comme trop souvent cela arrive en France. Dans son ouvrage sur les chemins de fer anglais, M. Bineau fait déjà la remarque que « à force » de précautions, la législation française a fini par » charger d'entraves les concessions de chemins de » fer (1). » Ajoutons, au reste, que la constitution de la propriété foncière, aux mains d'un petit nombre de tenanciers, rend l'établissement des voies de transport plus facile en Angleterre que chez nous, surtout lors-

(1) *Chemins de fer d'Angleterre*, p. 127.

qu'il s'agit de chemins privés pour le service spécial d'une mine ou d'une usine.

Le sol aussi est généralement moins accidenté en Angleterre qu'en France. Dans tous les cas, même en ayant égard aux conditions si différentes des deux contrées, il est certain qu'au point de vue de la multiplicité des voies de transport, les Anglais sont nos maîtres, et qu'à cet égard nous péchons quelque peu par un excès de prudence craintive.

§ 1er. *Transports par mer.*

Occupons-nous d'abord des transports par mer :

Le fret, rapporté à l'unité de distance, est nécessairement moindre par mer que par tout autre voie. Les tableaux que nous publions ci-dessous montrent que, pour la houille et les minerais de fer, et dans le cas de parcours de moins de 1.000 kil., il est généralement *moitié* du fret le plus bas par chemin de fer, et même le *tiers* ou le *quart* pour des distances plus grandes; mais comme la distance d'un point à un autre de l'Angleterre est presque toujours moindre par voie de terre que par mer, il arrive que, dans bien des cas, on donne néanmoins la préférence au chemin de fer, qui d'ailleurs a l'avantage d'un service plus rapide et plus régulier.

Cette concurrence des voies ferrées a naturellement réagi sur le fret par mer et réduit les bénéfices du cabotage entre certains ports. Ainsi le fret de Newcastle à Londres variait, il y a douze à quinze ans, entre 10 à 12 francs par tonne, tandis qu'il n'est plus aujourd'hui que de 7f,50 à 8 francs.

On a également abaissé les dépenses accessoires de chargement et de déchargement par l'emploi toujours

plus général de procédés mécaniques et de moteurs inanimés. Il n'entre pas dans le plan de notre travail de les décrire ici. Piot et d'autres les ont fait connaître, mais nous devons insister sur le contraste qui existe, sous ce rapport, entre les ports français et anglais, et mentionner les plaintes si générales des capitaines anglais au sujet des pertes de temps qu'ils éprouvent, dans les ports de France, à cause de l'insuffisance et de la lenteur des procédés de déchargement généralement usités. On ignore trop encore en France que *« time is money. »*

Les frais de transport par mer dépendent nécessairement, comme les prix des denrées, du rapport qui existe entre l'offre et la demande. La saison, d'ailleurs, n'est pas indifférente ; le fret, en hiver, est de 8 à 10 0/0 plus élevé qu'en été.

Dans le tableau qui suit nous avons cherché à réunir les frets des ports anglais et français entre lesquels s'opèrent les transports les plus considérables en houilles, minerais, fontes et fers. En consultant ces chiffres, on voit que, par mille et tonne, le taux ordinaire du fret est en moyenne de 2/8 de penny ; ou qu'il varie, en général, par tonne et kilomètre, entre 1c,2 et 1c,8, lorsque les distances sont au-dessous de 1.000 kilom. ; tandis qu'il est de 1/8 de penny, ou de 0c,75 à 1 centime pour les distances de 2 à 3.000 kilom.

Tableau des frais de transport par mer.

OBJETS transportés.	PORTS de départ.	PORTS d'arrivée.	DISTANCE approximative en milles anglais.	FRET TOTAL par tonne.	Fret par tonne et par mille en pence.	Fret par tonne et par kilom. en centimes.	Observations.
			milles	shillings	pen.	cent.	
Minerais de fer.	Barrow ou Whitehaven. (Cumberland)	Newport ou Cardiff.	350	5 à 5.6d	0,20	1,3	(a)
Houilles	Newcastle.	Londres.	360	6 à 6,6d	0,21	1,3	
	Newcastle. Sunderland. Hartlepool.	Havre ou Dieppe.	400	8.6d à 9.6d	0,27	1,7	
	Cardiff. Newport.	Havre. Dieppe. Bordeaux.	500 à 550	9.6d à 10.6d	0,23	1,4	
Fontes.	Glasgow.	Havre. Dieppe. Nantes.	700	10.6d à 11	0,19	1,2	
	Middlesboro.	Calais. Boulogne. Dunkerque.	330 à 350	8	0,28	1,8	
	Middlesboro.	Havre. Dieppe.	400	9.6d à 10	0,30	2,0	
	Liverpool.	Havre. Bordeaux.	550	10	0,22	1,4	
Fers et fontes .	Bristol. Newport. Cardiff. Swansea.	Havre. Bordeaux.	500 à 550	11 à 12	0,25	1,6	
	Cardiff. Glasgow. Middlesboro .	Marseille. Cette.	2.200 à 2.500	21 à 22	0,11 0,12	0,7 0,8	
	Middlesboro .	Bordeaux.	950	14 à 15	0,18	1,1	
Houilles	Cardiff. Newcastle.	Marseille.	2.200 à 2.500	18 à 20	0,10	0,6	
	Newcastle. Sunderland.	Bordeaux.	900 à 1.000	12 à 14	0,16	1,0	

(a) Hématites rouges fondues dans le pays de Galles.

Nota. En 1857 et 1858 le fret s'est momentanément abaissé à 10 p. 100 au-dessous des chiffres de ce tableau ; il était alors exceptionnellement bas. — Le coke, à cause de son volume, paye toujours plus que la houille.

A ces chiffres, il faut ajouter, pour assurance, commissions et courtage, 3 à 4 p. 100 de la valeur du produit transporté, plus les frais de chargement et de déchargement et autres menues dépenses. Ce qui fait en moyenne :

Pour la houille et le minerai de fer.	9 d. à 1 sh.
Pour la fonte.	2^{sh}.6^{d} à 3 sh.
Pour le fer	4 sh. à 4^{sh}.6^{d}.

Les frais de commissions varient, au reste, avec l'importance des commandes et les conventions privées des négociants.

§ 2. *Transports par terre, canaux et chemins de fer.*

Passons au transport intérieur par canaux et chemins de fer :

Ces voies sont de deux sortes, *publics* ou *privés*.

Les canaux et chemins de fer *publics* sont autorisés en Angleterre par actes du parlement. La compagnie concessionnaire peut alors acquérir à perpétuité la propriété des terrains traversés, et cela, de gré à gré, ou conformément à la décision d'un jury, tiré au sort sur une liste dressée par le shériff du comté. Le premier chemin de fer, ainsi autorisé, fut celui de Stockton à Darlington (Durham), en 1821, pour le transport de la houille.

Pour les canaux et chemins de fer *privés*, il faut obtenir, de gré à gré, des propriétaires, la permission de passer sur leurs terrains; un traité fixe la rente à payer; elle est désignée par le nom de *way-leaves*. Son taux est souvent exorbitant, et pourtant on est encore plus favorisé sous ce rapport en Angleterre qu'en France, où, à cause de l'extrême division de la propriété foncière, l'établissement d'une voie de communication

privée, d'une certaine étendue, est à peu près impossible; tandis qu'en Angleterre des chemins de fer privés, de 10 à 15 milles, ne sont pas chose rare. Comme rente (*way-leave*), on paye, soit tant par tonne et mille, soit tant par an et mille indépendamment du trafic opéré.

Piot indique, dans son mémoire sur les mines de Newcastle, comme taux moyen du premier système, 2 pence par tonne et mille, et assure que, pour les embranchements du chemin de fer de Stanhope à la Tyne, la rente annuelle par mille allait à 250 livres (6.250 fr.), et même, à l'origine, jusqu'à 350 livres! (1)

Les canaux sont nombreux en Angleterre, et, comme en France, on trouve canaux et chemins de fer côte à côte, le long des mêmes vallées, partout où le trafic est considérable.

Sur quelques points (dans le pays de Galles, par exemple) les canaux ont été rachetés par les compagnies de chemins de fer; sur d'autres, le rachat est dans les choses probables (Écosse).

Partout, d'ailleurs, la concurrence a nivellé les prix; aussi les frais sont-ils en général sensiblement les mêmes sur les rail-ways et sur les canaux, ou du moins peu inférieurs sur ces derniers; on se sert de l'un ou l'autre mode de transport, selon la position spéciale de l'établissement à desservir.

Dans le pays de Galles et le district du Centre, canaux et chemins de fer sont également répandus; pourtant, sauf dans le Sud-Staffordshire, où des branches de canaux aboutissent directement à toutes les usines et presque à toutes les mines, les voies ferrées l'emportent généralement sur le transport par eau.

(1) *Annales des mines*, 4^{e} série, t. I, p. 141.

Plus au nord, dans le bassin de Newcastle, les railways règnent en maîtres, tandis qu'en Écosse le bateau et la locomotive se font encore sérieuse concurrence.

Tarifs.

Les tarifs légalement autorisés sont généralement fort élevés sur les chemins de fer comme sur les canaux; mais, en réalité, ce sont de simples maxima dont on approche rarement.

Le fret se règle de gré à gré, selon les circonstances. Les éléments qui influent le plus sur le taux du fret sont évidemment, outre la concurrence des voies parallèles, ferrées ou navigables, la nature et l'importance des objets à transporter.

Les tarifs des actes de concession distinguent :

Le *péage*, la *traction* et les *frais de waggon*, car bien souvent les compagnies de mines fournissent elles-mêmes les waggons pour la houille et les minerais.

Du reste, sur les plus anciennes lignes concédées, l'acte de concession ne fixe même aucun tarif pour les marchandises; tout est abandonné au libre arbitre des compagnies.

Sur les lignes, concédées plus récemment, le péage est généralement de 1 penny par tonne et par mille pour les marchandises les plus communes, et les frais de transport (traction et waggons) de 2 pence; ainsi l'ensemble du fret est de 3 pence par tonne et mille, ou de 19^c,7 par tonne et kilomètre; mais, nous le répétons, ces tarifs sont rarement perçus, surtout pour les houilles, fers et fontes.

Les tableaux qui suivent en fournissent cependant quelques exemples.

Sur la plupart des lignes, les frets réellement perçus décroissent avec les distances.

Tableau des frais de transport par chemins de fer ou par canaux.

(Tous frais de chargement, déchargement et accessoires compris.)

MATIÈRES transportées.	NOM DE LA VOIE.	FRET total.	DISTANCES en milles.	FRET par tonne et par mille.	FRET par tonne et par kilom.	Observations
			1° DISTRICT DU PAYS DE GALLES.			
		shillings	milles	pence	centimes	
Houilles et minerais de fer. . . .	Chemin de fer ou canaux des ports de Cardiff, Swansea, Newport, etc., aux mines et usines à fer du pays de Galles.	2 à 3	20 à 30	1 1/8 à 1 2/8	7,3 à 8,1	(a)
Fers et fontes. . .	Chemins de fer ou canaux des usines aux ports de Cardiff, Swansea, Newport, etc.	3 à 5	20 à 30	1 5/8 à 2	11 à 13	
Houilles.	Chemin de fer du Great-Western de Cardiff ou Newport à Londres.	6 à 6.6^d	140 à 160	1/2	3,3	(b)
Fers et fontes. . .	*Idem.*	12 à 16	140 à 140	1 à 1 2/8	6,50 à 8	(c)

(*a*) Les tarifs varient peu sur les deux ou trois lignes principales du pays de Galles.— Les compagnies de chemins de fer se chargent de la traction. Les mines et usines fournissent les waggons. En général, on paye 7/8 de penny pour péage et traction, et l'on compte 2/8 de penny pour l'emploi et l'usure des waggons.

(*b*) Les waggons sont fournis par le chemin de fer.

(*c*) Le fret pour les fers varie avec l'importance du lot.

Nota. Le fret des fers et fontes, depuis les usines aux ports d'embarquement, varie avec l'importance du lot et le poids des minerais que l'usine reçoit en retour du port d'embarquement.—Dans certains cas, le fret descend, par suite, au-dessous de 1 1/2 penny par tonne et par mille. Avant l'établissement des chemins de fer, les tarifs étaient fort élevés sur les canaux: on payait jusqu'à 3 pence par tonne et par mille ou 19 centimes par tonne et par kilomètre. On paye même encore aujourd'hui cette somme pour les 14 milles qui séparent l'usine d'Yniscedwyn du port de Swansea.

MATIÈRES transportées.	NOM DE LA VOIE.	FRET total.	DISTANCES en milles.	FRET par tonne et par mille.	FRET par tonne et par kilom.	Observations.
2° DISTRICT DU SUD-STAFFORDSHIRE.						
		shillings	milles	pence	centimes	
Houilles et minerais de fer des houillères. . . .	Canaux du Staffordshire des compagnies de Birmingham et de Stourbridge.	0.6[d] à 1	2 à 4 en moyenne, 8 à 10 au maximum.	3	19,7	(*a*)
Minerais de fer du Nord-Staffordshire.	Canal ou chemin de fer entre Birmingham et la Mersey.	6.6[d]	35 à 40	2	13,1	(*b*)
Minerais de fer du Lancashire. (*Red-Ores*). . .	Chemin de fer de Ulverstone par Lancaster à Birmingham.	8 à 9	120 à 130	0,8	5,3	
Fers de toutes sortes.	Chemins de fer ou canaux du Sud-Staffordshire à Liverpool, Cardiff ou Newport.	10 à 10.6[d]	90 à 100	1,2	7,9	
	Chemin de fer du Sud-Staffordshire à Londres.	17	130 à 140	1,4 à 1,5	9 à 10	(*c*)
	Chemin de fer des usines au port de Hull.	14.6[d]	140	1,2	7,9	

(*a*) Les transports entre les mines et les usines se font en général par canal. On paye 3 pence pour le péage total, quelle que soit la distance au-dessous de 15 milles, et 1 à 2 pence pour traction et usure du bateau par chaque mille parcouru.

(*b*) On voit, en comparant ces trois exemples, que le fret diminue à mesure que la distance augmente.

(*c*) Ce fret est plus élevé que le précédent parce qu'il comprend les faux frais de transbordement et de camionage à Londres.

Nota. Nous ajouterons ici, comme terme de comparaison, le tarif-type adopté par le comité de direction du North-West rail-way qui traverse le Staffordshire. Nous l'avons relevé sur les tableaux affichés dans les bureaux des stations. Il ne comprend aucun des faux frais accessoires, mais c'est sur ce type, pris comme maximum, que l'on obtient des rabais qui dépendent de l'importance des poids à transporter

MATIÈRES TRANSPORTÉES.	FRET par tonne et par mille.	FRET par tonne et par kilom.	OBSERVATIONS.
	pence	centimes	
Houilles, cokes, laitiers.	3/4	5,0	pour des distances de moins de 50 milles.
	5/8	4,1	pour des distances de plus de 50 milles.
Minerais, fontes et fers.	1	6,6	
Tôles, cercles, feuillards.	1 1/2	9,9	

MATIÈRES transportées.	NOM DE LA VOIE.	FRET total.	DISTANCES en milles.	FRET par tonne et par mille.	FRET par tonne et par kilom.	Observations
3° DISTRICT DE NEWCASTLE ET DU CLEVELAND.						
		shillings	milles	pence	centimes	
Houilles.	Chemin de fer de Stockton à Darlington et Aukland avec ses embranchements.	1.3[d]	30	1/2	3,3	(*a*)
Coke.	*Idem.*	2	30	3/4	5	
Houilles.	Durham à Sunderland.	2.6[d]	15	2	13,2	(*b*)
	Great-Northern de Durham à Londres.	10.10[d]	260	1/2	3,3	(*c*)
Minerai de fer du Cleveland.	De Middlesboro ou Guisboro à l'usine de Concett.	4	45 à 50	1	6,6	(*d*)
Minerai de fer du Cumberland. (*Red-Ore.*)	Divers chemins de fer reliant les environs de Whitehaven à Concett.	9 à 10	120	7/8 à 1	5,8à 6,6	
Fers et fontes. . .	Divers chemins de fer reliant l'usine de Concett à Sunderland ou Tynemouth.	4	30 à 35	1 1/2	9,9	

(*a*) Des mines de houille aux usines de Middlesboro.

(*b*) Des mines au port d'embarquement.

(*c*) Même tarif pour les 300 milles de Newcastle à Londres.

(*d*) Le transport a lieu en remonte avec plan incliné sur le parcours.

Nota. Ajoutons le tarif affiché dans les bureaux des stations du chemin de fer de Stockton à Darlington avec ses divers prolongements. Ce chemin, le plus ancien d'Angleterre, présentait autrefois plusieurs plans inclinés à pentes et contre-pentes. On les a supprimés en modifiant le tracé.

MATIÈRES TRANSPORTÉES.	FRET par tonne et par mille.	FRET par tonne et par kilom.	OBSERVATIONS.
	pence	centimes	
Houille et coke.	3/4	5,0	Sur ce tarif type on accorde des rabais qui dépendent des poids à transporter.
Minerais de fer, fontes, tôles, fers en barres.	2	13,2	

MATIÈRES transportées.	NOM DE LA VOIE.	FRET total.	DISTANCES en milles.	FRET par tonne et par mille.	FRET par tonne et par kilom.	Observations.
4° DISTRICT CENTRAL (SHEFFIELD, LEEDS ET DERBY).						
		shillings	milles	pence	centimes	
Houilles	Chemins de fer divers des environs de Sheffield.	2	10 à 12	2	13,2	(a)
	Leeds à Hull.	4	45 à 50	1	6,6	
Cokes	Mines du Durham à Sheffield par le Great-Northern, etc.	8 à 9	90 à 100	1	6,6	
Fer en barres de Suède débarqué à Hull et aciers de Sheffield qui retournent à Hull.	Chemin de fer de Hull à Sheffield.	8	70	1,4	9,1	(b)
	Canal de Hull à Sheffield.	7	70	1,2	7,8	(c)
Fers et massiaux du Canada	Chemin de fer de Liverpool à Sheffield.	13	78	2	13,2	
5° DISTRICT DE GLASGOW.						
Houille	Canaux des mines aux usines.	1.2[d]	3 en moy.	4,7	30	
Minerais de fer	*Idem.*	1.10[d]	2½	0,9	6	(d)
Fonte	Canaux des usines à Glasgow.	1	11	1,1	7,2	
Minerai de fer	Chemin de fer des mines aux usines.	2.8[d]	20	1,6	10,5	(e)
		6.8[d]	68	1,2	7,9	(f)
	Chemin de fer privé des mines au canal.	10 à 12[d]	4	2,5 à 3	16,5 à 20	

(*a*) Quelques mines ne sont qu'à 2 ou 3 milles de Sheffield, d'autres à 15 ou 20.

(*b*) Le fret de la Suède à Hull est en moyenne de 15 à 17 shillings.

(*c*) Avant l'ouverture du chemin de fer, le fret était de 12 à 13 shillings.

(*d*) On voit que pour les faibles distances les tarifs sont fort élevés.

(*e*) Le fret total d'après le tarif serait de 4 shillings.

(*f*) Distance exceptionnellement grande.

Nota. Les compagnies de chemins de fer des environs de Glasgow ont demandé à se fusionner et à racheter les canaux. Le parlement a refusé jusqu'à ce jour; mais on craint leur succès définitif et, par suite, l'élévation des frais de transport de 2[sh].8[d] à 3[sh].6,[d] pour la distance moyenne de 20 milles.

Ces tableaux prouvent qu'en général, pour la houille et les minerais de fer, et pour des distances d'au plus 3 à 4 milles, les frais de transport, chargement et déchargement compris, vont, par tonne et mille, jusqu'à 4 à 5 pence, soit, par tonne et kilomètre, à 30 centimes en moyenne. Pour les distances plus grandes, on trouve les chiffres suivants :

DISTANCES en milles.	FRET par tonne et par mille.	DISTANCES en kilomètres.	FRET par tonne et par kilomètre.	Observations.
	pence.		cent.	
De 4 à 10	3	De 6 à 16	20	(a)
10 à 50	2	16 à 80	13,2	
50 à 100	1	80 à 160	6,6	
100 à 150	3/4	160 à 240	5,0	
Au delà de 150	1/2	Au delà de 240	3,3	(b)

(*a*) Sur quelques chemins de fer dont le trafic est très-considérable, les frets sont moindres. Ainsi, sur celui de Stockton à Darlington, on ne paye que 1/2 penny, même pour des distances de 30 à 40 milles.

(*b*) Lorsque l'expéditeur fournit le wagon, on ne réclame même que 3/8 pence, soit 2[c],5 par kilomètre.

Ces chiffres se rapprochent des tarifs spéciaux des compagnies françaises; pourtant ils sont encore en général un peu plus élevés, excepté sur le chemin de Stockton à Darlington.

Voici, en effet, pour la houille, les minerais de fer et le coke, les tarifs de nos chemins de fer français.

§ 3. *Tarifs sur chemins de fer et canaux français.*

D'après les actes de concession, on pourrait exiger, sur la plupart des lignes, 10 centimes par tonne et kilomètre, quelle que soit la distance parcourue, chargement et déchargement non compris; et, en réalité, on applique encore ce tarif sur certaines lignes, telles que celles de Rhône et Loire, pour des parcours allant jus-

qu'à 50 et 80 kil. (entre Saint-Étienne, Lyon et Roanne). Sur le chemin de Bessèges à Alais le tarif est même de de 12 centimes, et sur celui de Graissessac à Béziers de 15 centimes. C'est le pendant du tarif de 2 pence pour les parcours de 10 à 50 milles.

Par contre, les grandes lignes, à l'exemple des chemins de fer anglais et afin de soutenir comme eux la concurrence des canaux, ont en général notablement baissé leurs tarifs et adopté également une échelle décroissante à mesure que le parcours augmente.

La réduction n'est pas, d'ailleurs, la même sur toutes les lignes, ni toujours uniforme sur les diverses sections d'une même ligne. A cet égard, chaque compagnie se laisse guider par son intérêt privé, plus ou moins bien entendu.

Sur les principales lignes, les bases des tarifs spéciaux actuels pour les houilles et les cokes sont les suivantes :

NOMS de la voie.	PARCOURS.	PRIX du transport par tonne et par kilomètre	OBSERVATIONS.
	kil.	cent.	
Chemins de fer du Midi.	de 0 à 50	7	Avec un minimum de perception de 2 fr. sur les faibles distances. Pour les minerais de fer au delà de 150 k., 4 cent.
	de 51 à 100	6	
	au delà de 100	5	
Chemins de l'Ouest.	de 0 à 75	7	Avec un minimum de perception de 2 fr. Sur les chemins du Midi et de l'Ouest, quelle que soit la distance parcourue, on paye toujours les premiers 50 ou 75 kil., d'après le tarif, de 7 cent.
	de 76 à 150	5	
	au delà de 151	4	
Chemins du Nord.	de 0 à 70	6	Avec un minimum de perception de 60 c. Le tarif décroît insensiblement et non par intervalles de 50 ou 75 kil. comme sur les deux lignes du Midi et de l'Ouest.
	pour. . . . 100	prix moyen 5,2	
	pour. . . . 200	prix moyen 4,10	
	pour. . . . 300	prix moyen 3,75	
	pour. . . . 350	prix moyen 3,63	
Chemins de l'Est.	de 0 à 50	8	Pour les houilles partant de Ronchamp et de Saint-Étienne, on paye 8 cent. jusqu'à 100 kil. Pour celles venant de Forbach, 6 cent., même pour des distances de 20 à 50 kil. seulement.
	pour. . . . 75	prix moyen 7	
	pour 80 ou 100 en partant de Paris ou de Forbach.	prix moyen 6	
	pour. . . . 200	prix moyen 5	
	pour. . . . 300 et au delà.	prix moyen 4	
Chemins d'Orléans.	de 0 à 50	6	Avec un minimum de perception de 3 fr.
	pour. . . . 100	prix moyen 3,5 à 5	Selon les sections.
	pour. . . . 200	prix moyen 3 à 4	
	pour. . . . 300 et au delà.	prix moyen 3 à 4	
Chemins de Paris à Lyon et la Méditerranée.	de 0 à 65	10	Sur la section de Nevers à Roanne et Brioude, le tarif est Pour 0 à 100 kil., 8 cent. De 100 à 200 5 Au delà de 200 4
	pour. . . . 100	prix moyen 6,5	
	pour. . . . 200	prix moyen 5	
	pour. . . . 300	prix moyen 4,5	
	pour. . . . 400	prix moyen 4	
	pour. . . . 500	prix moyen 3,5	

Les tarifs précédents subissent encore des réductions lorsque la houille est destinée pour l'exportation ou la marine, ou lorsque deux lignes sont simultanément intéressées à favoriser les transports.

Les réductions sont surtout fortes, sur les lignes de Paris à Orléans et de Paris à Lyon, pour les houilles de la Loire et de la Haute-Loire.

Ainsi, de Montluçon à Vierzon, à cause de la concurrence du canal du Berry, on ne paye que 3 francs pour 171 kil., soit 1^{c},75.

	kilom.	fr.	cent
De Montluçon à Paris (Ivry) pour	420	11,00, soit	2,62
De Montluçon à Nantes	609	17,00	2,79
De Brassac à Nantes	694	19,00	2,74
De Saint-Etienne à Nantes	718	19,70	2,74
De Saint-Etienne à Paris (Ivry)	529	19,00	3,60
De Saint-Etienne à Marseille	370	15.90	4,30
De Saint-Etienne à Marseille (pour l'exportation ou la marine)	370	13,00	3,51
De Saint-Etienne à Toulon	440	18,40	4,18
De Saint-Etienne à Toulon (pour l'exportation)	440	15,50	3,52

Pour comparer ces frets aux frets anglais, il y aurait à y ajouter les frais accessoires de chargement, déchargement, droits d'embranchement, etc., qui sont au maximum de 1 franc par tonne. Ainsi, pour des distances de 300 à 500 kil., ce serait 0c,2 à 0c,3 à ajouter par tonne et kilomètre. A distances égales, les frais de transport restent donc toujours plutôt inférieurs en France.

Ajoutons enfin que sur la plupart des canaux en France le fret est plus bas encore, et notablement inférieur au fret des canaux anglais. Depuis la réduction des droits de navigation, de 2 centimes à 0c,5, sur les canaux du Centre, le fret est en général compris entre 2 centimes et 2c,5 par tonne et kilomètre.

Ainsi, sur le canal du Berry (de Bourges à Montluçon), on a :

Pour traction	0f,019
Pour droit	0f,005
Fret	0f,024

Sur le canal de Paris à Valenciennes :

Pour 315 kilom. = 7f,50, soit 0f,024
dont 0f,010 à 0f,011 pour droit.

CHAPITRE II.

MAIN-D'ŒUVRE.

Dans l'industrie des fers, comme au reste dans la plupart des industries, la main-d'œuvre est, en dernière analyse, l'élément essentiel de la valeur réelle des produits successifs.

En consultant les prix de revient des trois matières premières principales, la houille, le minerai et la castine, on voit que la main-d'œuvre y entre, en effet, dans la proportion de 60 à 80 pour 100; et lorsqu'on songe que les valeurs de la fonte et du fer dépendent presque exclusivement de celle de ces matières premières, augmentée de la main-d'œuvre directe des hauts-fourneaux et des forges, on arrive à cette conclusion qu'en Angleterre, où les matières premières subissent en général un faible transport, les *trois quarts* environ du prix de revient du fer, sous toutes ses formes, sont en définitive représentés par le salaire des ouvriers. Il est par suite important d'apprécier sous ce rapport la situation réelle de l'Angleterre.

Tout le monde sait que la vie est plus chère dans le Royaume-Uni qu'en France, et que cet état de choses provient essentiellement de l'insuffisance des produits agricoles du pays, et peut-être aussi, jusqu'à un certain point, de l'abondance des capitaux. Pourtant à cet égard, comme sous beaucoup d'autres, on s'exagère les différences entre les deux contrées. Sous le rapport de l'intérêt des capitaux et du prix des matières essentielles à la vie, il s'opère graduellement, entre les divers pays, une sorte de nivellement général : la facilité des communications et les progrès incessants de la liberté du commerce en sont les principales causes.

Chaque jour les contrastes tendent à s'affaiblir ; ainsi, en France, la plupart des objets nécessaires à la vie ont haussé depuis vingt-cinq à trente ans ; tandis qu'il qu'il n'en est pas ainsi, au moins au même degré, en Angleterre. La libre entrée des céréales a momentanément mis un terme à cette tendance générale, et, par cette mesure, sir Robert Peel a considérablement amélioré la situation générale des classes ouvrières.

Le taux de la main-d'œuvre s'est partout élevé depuis un quart de siècle ; mais, tandis qu'en France la hausse se trouve en majeure partie neutralisée par le renchérissement proportionnel de toutes les denrées, en Angleterre l'accroissement des salaires a réellement profité aux ouvriers ; aussi tout le monde reconnaît que la misère a diminué dans les districts industriels depuis le rappel des lois qui gênaient la libre entrée des céréales.

L'accroissement de la main-d'œuvre, en Angleterre comme en France, se fait d'ailleurs beaucoup moins sentir, quant aux forges, dans la classe des ouvriers *spéciaux*, que dans celle des simples manœuvres. Celle-ci augmente graduellement avec le coût de la vie matérielle, tandis que le salaire des ouvriers spéciaux est forcément sujet à toutes les fluctuations de l'activité industrielle. Or, il y a trente ans, les forges se développaient, les fondeurs et les puddleurs étaient rares, on les recherchait et les payait bien. Aujourd'hui la métallurgie languit, les ouvriers des forges sont nombreux, et, par ce motif, on ne les paye guère plus qu'il y a trente ans, malgré la hausse générale de la main-d'œuvre ordinaire.

Par suite du nivellement incessant, dont nous venons de parler, le salaire des ouvriers se rapproche également d'une façon continue dans les diverses contrées ; cependant, soit à cause du coût plus élevé de la vie

matérielle, en Angleterre, soit à cause de son activité industrielle plus grande, il existe encore, entre la France et le Royaume-Uni, sous le rapport du taux général de la main-d'œuvre, une différence d'environ 25 p. 100. Le shilling remplace le franc. Le simple manœuvre se paye, sur les mines et les usines, selon son âge et son aptitude, 2 à 3 shillings, lorsqu'en France on lui donne 2 à 3 francs. Il en est de même des ouvriers spéciaux, comme le montre le tableau suivant :

Tableau comparatif du taux des salaires en France et en Angleterre.

PRIX MOYEN DE LA JOURNÉE :	ANGLETERRE.	FRANCE.	Observations.
	sh.	fr. fr.	
Des mineurs	4	4	
Des traîneurs et rouleurs	2 à 2.6[d]	2 à 2,50	
Des fondeurs de hauts-fourneaux.	5 à 6	5 à 5,50	
Des aides-fondeurs	3	3	
Des chargeurs	3 à 3.6	3,50	
Des aides-chargeurs	2 à 2.8	2,75	
Des machinistes	4 à 5	4 à 5	
Des chauffeurs	2 à 2.6	2,75	
Des forgerons ordinaires	3.6	3,50	
Des lamineurs des barres puddlées.	5 à 6	5 à 6	
Aides-lamineurs	3.2	3 à 3,50	
1[er] lamineur pour rails et gros fers.	9 à 9.2	8 à 10	
2[e] lamineur, *id.*	4.6	4 à 6	
Moyenne de la journée des ouvriers d'un atelier d'ajustage, tournage, etc., pour réparations de machines et d'outils	3[sh]6[d] à 4[sh]	3,75 à 4,00	Les chiffres de la France se rapportent surtout aux départements du Gard, de la Loire et de l'Ardèche.

En comparant ces chiffres, on voit effectivement que les principaux ouvriers anglais sont payés en shillings, comme les nôtres en francs. Néanmoins, ce rapport n'est pas aussi constant lorsqu'on compare le prix de la main-d'œuvre au travail effectué. Parfois la différence entre les deux contrées est alors presque nulle.

En Angleterre, la grandeur du marché laisse plus facilement à chaque usine le choix de produits spéciaux, et permet par suite une fabrication plus continue d'échantillons identiques. De là, moins de pertes de

temps et une moindre dépense en journées par tonne de produits fabriqués. Mais, à part cet avantage réel, qui tient au principe même de la division du travail, et sauf quelques exceptions assez rares, nous ne pensons pas, comme on le croit généralement, que la somme de travail fournie par un ouvrier anglais soit plus élevée que celle d'un ouvrier similaire français, en admettant, bien entendu, de part et d'autre, des installations mécaniques identiques. Partout où l'ouvrier français se nourrit bien, et c'est le cas en général de l'ouvrier des forges et du puddleur en particulier, il produit à peu près autant dans sa journée que l'ouvrier anglais. On peut dire cependant que ce dernier est plus docile, à un certain point de vue ; il se résigne plus facilement à un travail manuel toujours le même ; il accepte, en un mot, plus volontiers le principe de la division du travail, et fournit ainsi souvent, par ce motif, un effet utile plus élevé. C'est ce que M. Calla a nettement exprimé dans l'enquête ouverte en vue du récent traité avec l'Angleterre.

Nous citons ses paroles, tout en y constatant une certaine exagération :

« L'ouvrier anglais, en général, se résigne, depuis » l'âge de quinze ans, où il entre comme apprenti » dans un atelier, jusqu'à ce que la vieillesse le force » d'en sortir, à faire toujours le même travail, la même » pièce, dans la même catégorie de travail ; il devient » en quelque sorte une *machine* vivante et intelli- » gente, à force de faire une seule et même chose. » En France, c'est tout différent. Cent fois il m'est ar- » rivé qu'un ouvrier m'a dit : Monsieur, depuis trois » mois, vous me faites mouler des roues d'engrenage » de tel diamètre ; je deviendrai machine, je ne serai » plus un mouleur. L'ouvrier anglais accepte cette si-

» tuation ; c'est là la cause de sa plus grande habileté, » et, ajoute M. Calla, *la cause du prix infiniment* » *moindre de la main-d'œuvre en Angleterre relativement* » *à la France* (1). »

En admettant le principe, nous ne pouvons cependant lui attribuer une influence aussi grande, et, dans tous les cas, nous ne pouvons aller jusqu'à conclure « que le prix de la main-d'œuvre est moindre en Angleterre. » D'ailleurs, si cet état de choses offre des avantages, il n'est pas non plus sans inconvénients. L'ouvrier anglais devient « *machine ;* » on ne peut l'arracher à des habitudes prises ; il est routinier par principe.

Un maître de forges anglais, qui a longtemps dirigé des usines en France, nous assurait même qu'il aimait mieux occuper les ouvriers français, qu'ils étaient plus intelligents, plus vifs, plus faciles à façonner à un travail nouveau.

Si réellement, dans certains établissements, comme les ateliers de moulage, d'ajustage, etc., un ouvrier anglais fournit plus de travail que l'ouvrier similaire français, cela est dû surtout aux installations mécaniques plus parfaites et plus généralisées. Mais, à cet égard, les grandes usines françaises se rapprochent tous les jours davantage des ateliers anglais ; et en particulier, nous pensons que, dans les mines et les forges proprement dites, la somme de travail due à un homme est sensiblement la même dans les deux pays, et qu'ainsi le taux de la main-d'œuvre, rapporté au travail accompli, est bien réellement, dans les forges anglaises, sinon de 25 p. 100, au moins en moyenne de 15 à 20 p. 100 plus élevé qu'en France.

(1) Tome Ier de l'Enquête, p. 400 et 401.

CHAPITRE III.

CONSTITUTION DE LA PROPRIÉTÉ FONCIÈRE ET ORGANISATION DES SOCIÉTÉS INDUSTRIELLES.

§ 1. *Constitution de la propriété foncière.*

La propriété foncière se trouve, en Angleterre, presque exclusivement aux mains des derniers conquérants. A l'exception d'un certain nombre de petits domaines, appelés *free-holds*, les terres appartiennent à la noblesse, et celle-ci ne peut ni les aliéner ni les diviser; ce sont en quelque sorte des majorats qui passent intacts aux fils aînés.

Avec la surface du sol, on possède d'ailleurs aussi le *tréfonds*. Chaque propriétaire peut exploiter les richesses minérales du sous-sol quand et comme il veut, sans aucune intervention de la part de l'État. Néanmoins il y en a peu qui profitent directement de cet avantage. La plupart cèdent à des tiers le droit d'exploiter, sous leurs domaines, la houille et le minerai, et d'y installer, à la surface du sol, des forges ou des usines. Ces cessions sont toujours temporaires, pour vingt, trente, soixante, jusqu'à quatre-vingt-dix-neuf années. A Newcastle les baux des mines sont généralement établis pour vingt et une ou quarante années. Le taux du fermage, ou la redevance (*royalty*), varie selon les circonstances; à l'origine, presque insignifiante, elle est aujourd'hui, dans certains districts, comme nous le verrons, excessivement élevée.

Toutes les constructions, quoique exclusivement établies aux frais de l'amodiataire, appartiennent de droit et sans aucune indemnité au propriétaire du sol, lors de l'expiratiou du bail. De là vient qu'en général la plupart des usines anglaises et des ateliers de mines

sont construits non-seulement sans luxe, mais même très-légèrement, et que presque toujours ils sont entretenus avec une négligence et un laisser-aller qui contrastent singulièrement avec l'état des établissements analogues du continent (1).

Cette constitution de la propriété foncière a, au point de vue de l'industrie minière et métallurgique, ses avantages comme ses inconvénients.

La première mise de fonds est moindre qu'en France. On n'achète ni le sol ni la concession, et lorsqu'on entreprend des recherches de mines, on n'est pas exposé, en cas de succès, à se voir dépouillé par un concurrent tardif, mais plus habile. Ainsi, tout concourt, dans ce système, à favoriser les premières fouilles; puis on n'est pas arrêté, comme chez nous, par les mille formalités que réclame notre législation minière. Au fond, les concessions ne sont cependant pas plus gratuites en Angleterre qu'en France. Dans les deux pays, c'est le futur exploitant qui supporte et entreprend, à ses risques et périls, les travaux d'exploration (2). Jusque-là l'avantage appartient donc bien

(1) Il faut en excepter évidemment les usines qui appartiennent aux propriétaires mêmes du sol, comme *Cyfarthfa* à M. Craushay, dans le pays de Galles, et *Brierly-Hill* à lord Ward dans le Staffordshire.

Cette influence de la constitution de la propriété territoriale sur les constructions se manifeste partout. La plupart des maisons d'habitation, comme les fabriques, sont construites fort légèrement. On n'a aucun intérêt à bâtir pour une durée de plus de quatre-vingt-dix-neuf années. De là vient qu'en Angleterre, où le fer est cependant à si bas prix, on l'applique beaucoup moins qu'en France aux constructions *privées* et que la brique est partout préférée aux pierres de taille. On n'a recours au fer qu'en cas d'absolue nécessité, comme dans les constructions industrielles qui doivent être à l'abri du feu.

(2) Cependant, en Écosse et dans le Staffordshire, les propriétaires du sol font quelquefois entreprendre des sondages

réellement au système anglais. Mais il n'en est plus de même dès que commence la phase de production. Alors on paye au propriétaire la *royalty*, et cela en cas de perte, comme en cas de bénéfice, et dans tous les cas ce fermage est bien plus élevé que la redevance payée à l'État en France. Ensuite, si le fonds capital est, toutes choses égales d'ailleurs, moins considérable en Angleterre, l'amortissement n'en est pas moins plus lourd, à cause de la brièveté du bail. Il est vrai qu'on peut le renouveler, et que, sauf des cas exceptionnels, les propriétaires du sol ont plus d'intérêt à conserver les anciens exploitants que de leur en substituer de nouveaux ; mais il n'en est pas moins vrai qu'on est entièrement à leur merci, et qu'il faut bien souvent, ou payer de fortes sommes pour obtenir ce renouvellement, ainsi que le remarque l'ingénieur Piot (1), ou bien consentir à une redevance future beaucoup plus forte. Or on préfère encore en passer par là plutôt que de perdre, outre le fruit des travaux entrepris, 30 à 40 p. 100 sur la valeur du mobilier de l'établissement abandonné, mobilier qui évidemment ne peut guère être acheté que par le fermier nouveau. Ainsi, le vaste établissement de Dowlais, près de Merthyr-Tidvill, fondé il y a soixante ans, n'eut à payer jusqu'à ce jour qu'une redevance insignifiante ; mais, lors de la récente prorogation du bail pour soixante nouvelles années, il a fallu consentir à une *royalty*, relativement assez lourde, de 9 pence par tonne de houille et de 4 pence par tonne de minerai. Nous devons également observer qu'indépendamment de la *royalty*, payée au propriétaire du sol, les établissements industriels sont

avant d'amodier la mine ; mais c'est pour en tirer un meilleur produit et non pour venir en aide à l'exploitant.

(1) Page 140 du mémoire de Newcastle.

sujets en Angleterre à l'*income-taxe* (taxe du revenu), qui est de 10 pence par livre (4 p. 100) du revenu net en ce moment (1860). Il est par suite inexact de dire, comme on l'affirme si généralement, que les mines sont exemptes d'impôts en Angleterre (1).

Au point de vue de l'aménagement des richesses minérales, le système des amodiations temporaires est d'ailleurs jugé depuis longtemps. Il favorise évidemment le *gaspillage*. On exploite ce qui est peu coûteux à prendre, on laisse ce qui exige des travaux d'avenir, ou ne peut être pris qu'avec une légère hausse sur le prix de revient. C'est là, pour le dire en passant, avec la concurrence extrême des nombreux exploitants, le facile écoulement des produits et la grande régularité des dépôts carbonifères, la cause essentielle du bas prix de la houille en Angleterre, et par suite, de la position favorable de ses forges.

En résumé, d'après ce qui précède, il serait assez difficile de dire si, au fond, la constitution de la propriété foncière en Angleterre est plus favorable que nuisible à la prospérité réelle des entreprises minières et métallurgiques. Pourtant, si l'on se rappelle ce que nous avons dit au sujet des voies de communication privées, on admettra avec nous que le système anglais l'emporte en définitive sur le nôtre, du moins quant au *temps présent ;* car, avec le gaspillage dont nous venons de parler, il est bien évident que le système anglais escompte l'avenir au profit du temps présent.

Le même bail qui donne le droit de fouiller le tréfonds donne aussi celui d'établir, à la surface, des voies ferrées, des routes ou des canaux ; et s'il faut, pour des voies plus longues, traiter avec les propriétaires des

(1) Voyez *Enquête*, t. I, p. 458.

domaines voisins et parfois subir leurs exigences excessives, au moins leur nombre est-il toujours très-borné. On peut ainsi créer des railways privés de 10 à 12 milles sans avoir besoin de l'intervention de l'État, tandis qu'en France les plus courts embranchements deviennent impraticables si l'État ne les déclare d'utilité publique. La profusion des railways de toutes dimensions, autour des mines et des usines anglaises, comparée à leur extrême rareté dans les établissements français, tient donc uniquement à la constitution spéciale de la propriété foncière en Angleterre, et ne saurait être invoquée comme preuve d'infériorité ou de manque de hardiesse de la part des industriels français.

§ 2. *Organisation proprement dite des sociétés industrielles.*

L'organisation intérieure des entreprises industrielles est ordinairement fort simple. Pour l'exploitation des forges et des mines de houille, on a rarement recours aux sociétés par actions, ou, du moins, les entreprises, peu nombreuses, ainsi organisées n'ont guère prospéré. On leur reproche avec raison un certain défaut d'unité et d'énergie dans la direction, provenant de la diversité des intérêts engagés. D'ailleurs, dans les périodes de prospérité, on distribue les bénéfices, et lorsque surviennent des temps de crise, les réserves et les fonds de roulement se trouvent insuffisants pour traverser les mauvais jours.

Aujourd'hui, les établissements métallurgiques et miniers les plus vastes et les plus prospères sont aux mains d'une seule famille ou d'un très-petit nombre d'associés, dont les uns fournissent les capitaux, les autres leurs connaissances spéciales. Dans ces conditions, les bénéfices accumulés ne se dispersent pas;

on les retrouve quand on est forcé de vendre à perte, et l'on peut aisément supporter les temps plus difficiles. Cependant même alors le succès n'a pas toujours couronné les efforts des premiers fondateurs. Si quelques maîtres de forge ont prospéré, d'autres ont succombé, et bien souvent, comme en France, ceux-là seulement ont réussi qui ont pu acheter ou affermer, à vil prix, des établissements abandonnés à la suite de liquidations forcées.

Beaucoup de maîtres de forges, dans le pays de Galles et en Écosse particulièrement, exploitent eux-mêmes le minerai et le combustible; tandis que d'autres achètent aux exploitants les matières premières et se bornent à fabriquer, les uns la fonte, les autres le fer; tel est plus particulièrement le rôle des usines du Staffordshire, où les établissements sont très-nombreux, mais comparativement peu importants. La plupart des exploitants, comme nous l'avons dit ci-dessus, sont simples fermiers; exceptionnellement on rencontre cependant quelques *freeholds*, et certaines compagnies puissantes, comme celle d'Ebbw-vale, réunissent dans leurs mains à la fois des domaines en toute propriété et des amodiations provenant de divers.

Importance des établissements.

L'étendue des terrains ainsi concédés pour l'exploitation de la houille et du minerai varie beaucoup. Dans le pays de Galles on trouve des amodiations de 5 à 10 milles quarrés (1.200 à 2.500 hectares). Dans le Staffordshire il en est beaucoup qui ne mesurent pas 100 acres (40 hect.). En Écosse, dans le Cléveland et le bassin de Newcastle elles sont en général comprises entre ces deux extrêmes.

Lorsqu'une même entreprise se compose de mines et d'usines, l'importance des forges dépend nécessairement de la grandeur des concessions houillères. Dans

le pays de Galles, il est plusieurs établissements capables de fournir par an plus de 100.000 tonnes de fer, et, outre le combustible brûlé pour cette fabrication, de livrer au commerce jusqu'à 4 à 500.000 tonnes de houille en gros fragments. Ces vastes usines comprennent 15 à 20 hauts-fourneaux, 180 à 200 fours de puddlage, 40 à 50 kilom. de railways à locomotives, 100 à 120 kilom. de voies ferrées plus petites, et souvent 1.000 à 1.500 maisons d'ouvriers. C'est un ensemble dont la valeur intrinsèque *réelle* s'élève, y compris le fonds de roulement, à 25 ou 30 millions de francs, et qui fait vivre, plus ou moins directement, une population ouvrière de 10 à 12.000 âmes.

En Écosse et dans le Cleveland, on rencontre quelques établissements d'une importance presque égale, tandis que dans le Staffordshire, où le sol houiller est extrêmement morcelé, les établissements de trois ou quatre hauts-fourneaux et de trente ou quarante fours de puddlage sont de beaucoup les plus nombreux.

Date de la fondation des établissements.

Quelques-uns de ces établissements, comme Pontypool, dans le pays de Galles, datent de plus d'un siècle et furent autrefois exploités comme forges au bois; mais la plupart sont de création récente; les plus anciens, comme Dowlais, ont été fondés vers la fin du siècle dernier; un assez grand nombre, dans la période de construction des voies ferrées, de 1825 à 1840; enfin, les derniers, ceux du Cleveland, depuis 1850.

Comptabilité industrielle.

La comptabilité, comme l'organisation générale, est également simple dans les usines anglaises, peut-être même trop simple ou trop sommaire. Si, à cet égard, on pèche souvent par excès en France, on pèche bien certainement tout aussi souvent par défaut en Angleterre. On voit bien, en fin de compte, s'il y a perte ou bénéfice; mais il n'est guère possible de savoir

exactement quelles sont les fabrications spéciales qui donnent le maximum de bénéfices ou occasionnent des pertes.

Frais généraux.

L'évaluation des frais généraux varie avec les districts. Dans le Cleveland, on fait directement entrer en ligne de compte les intérêts des capitaux engagés; tandis que, le plus souvent, dans le pays de Galles et le Staffordshire, ces éléments ne figurent pas dans les prix de revient proprement dits des forges. On les considère plutôt comme des frais inhérents au commerce des fers. Ensuite, les grands établissements qui possèdent des mines de fer et des houillères, comme la plupart des usines du pays de Galles, n'attribuent jamais aucun bénéfice à la houille et au minerai consommés. On les compte à prix coûtant dans les prix de revient de la fonte et du fer. Le but essentiel de l'entreprise étant de fabriquer du fer, il est, en effet, naturel de ne pas chercher à bénéficier sur les éléments mêmes de cette fabrication, si ce n'est dans le cas où la vente directe de ces éléments (ou matières premières) pourrait se faire avec profit réel. Dans les usines anglaises où, le plus souvent, ces circonstances ne se rencontrent pas, tout est subordonné au prix de vente du fer ou de la fonte; s'il y a baisse sur ces prix, on cherche à abaisser également les prix de tous les éléments de la fabrication. Non-seulement on réduit la main-d'œuvre, si, du moins, la situation générale de la classe ouvrière le permet, mais encore on supprime, dans l'exploitation de la houille et du minerai, tous travaux d'avenir ou préparatoires (*dead-works*) non indispensables immédiatement. De cette façon, on peut maintenir l'équilibre entre les prix de revient et les prix de vente, même lorsque ces derniers varient entre des limites assez larges.

Situation économique actuelle des forges.

Depuis 1858, les prix de vente ont été fort peu rémunérateurs en Angleterre ; et lorsqu'on les compare aux prix de revient que nous donnerons spécialement pour chacun des districts, il semble même que bon nombre de forges ont dû fabriquer à perte. Pour quelques établissements, la conclusion est en effet parfaitement vraie, et la fermeture de plusieurs d'entre eux en est la meilleure preuve. Mais, d'un autre côté, la plupart des grandes usines du pays de Galles, du Cleveland et de l'Écosse profitent de divers produits indirects ou accessoires qui leur permettent de supporter les périodes de crise et de marcher longtemps avec des prix de revient, sinon supérieurs, au moins équivalant aux prix de vente. Tels sont spécialement les bénéfices que procurent la houille et la location des maisons d'ouvriers.

On a vu, en effet, que plusieurs forges, possédant des houillères, vendent une partie du charbon extrait. On consomme à l'usine un mélange de menu et de demi-gros, tandis qu'on exporte la majeure partie du véritable gros ; ainsi font, dans le pays de Galles, les établissements d'Ebbw-Vale, Aberdare, etc., dont les produits houillers, recherchés par la marine et les chemins de fer, s'embarquent à Newport et à Cardiff. Les bénéfices fournis par le charbon viennent donc en aide au commerce du fer, lorsque le prix de vente de ce dernier descend jusqu'au niveau du prix de revient.

Au reste, cet état de choses n'est pas spécial à l'Angleterre. Les usines de Belgique, et plus spécialement celles de Charleroi, sont dans le même cas. On expédie à Paris le gros charbon, et on cède le menu à vil prix aux forges du pays. En France même, plusieurs établissements profitent de conditions analogues, et d'ailleurs, qui ne sait que beaucoup de forges au bois

étaient à l'origine, ou sont encore maintenant, dans une situation tout à fait identique? On fabrique du fer pour mieux vendre ses bois.

La location des maisons d'ouvriers est une autre source de produits dans le pays de Galles. Chaque famille ouvrière paye en moyenne 3 sh. par semaine, et reçoit en retour, outre l'usage d'un appartement complet, 10 à 12 tonnes de houille par an. C'est 100 sh. par an pour le loyer proprement dit. Pour un maître de forges qui possède 1.000 à 1.500 maisons pareilles, c'est un revenu annuel d'au moins 100.000 à 150.000 francs. Or, en vue de sauvegarder ce revenu et de retenir les ouvriers pour de meilleurs temps, on consent sans peine à marcher même à perte pendant quelque temps.

Importance des stocks.

D'autre part cependant les forges disposent rarement de capitaux assez considérables pour travailler longtemps sans commandes. On rencontre çà et là des stocks de fonte ; mais presque jamais, au moins dans les usines mêmes, de grands stocks de fer. Ces stocks sont d'ailleurs plutôt aux mains des négociants de Londres, Liverpool et Glasgow qu'aux mains des maîtres de forges. Nous reviendrons avec quelques détails sur la question de ces stocks, en traitant du mode de ventes des principaux produits. Au moment de notre voyage (juin 1860), le stock était d'environ 100.000 tonnes de fonte dans le Cleveland, de 400.000 tonnes en Écosse et relativement insignifiant dans le Staffordshire et le pays de Galles. Un stock de 500.000 à 600.000 tonnes n'est d'ailleurs nullement exorbitant, puisqu'il équivaut à peine au sixième de la production annuelle du Royaume-Uni.

Abondance des capitaux.

Une circonstance qui influe évidemment d'une façon très-heureuse sur le développement des entreprises in-

dustrielles, c'est l'abondance des capitaux. A cet égard l'Angleterre l'emporte sur la France, et pourtant cette influence se manifeste moins par la différence même du taux de l'intérêt que par le caractère si opposé des deux nations. Autrefois, sans doute, chaque nation formait un tout plus ou moins isolé; leurs rapports étaient peu fréquents et les capitaux dépassaient rarement ces limites factices; mais aujourd'hui il n'en est plus ainsi. Qu'une entreprise quelconque, chemin de fer, usine ou mine, offre des avantages réels et assurés sur le continent, les capitaux anglais s'y porteront comme si elle se trouvait en Angleterre même. Évidemment il en est des capitaux et du taux de l'intérêt comme des conditions générales de la vie. Il s'opère, sous ce rapport aussi, un nivellement général; mais ce qui s'efface moins, ce sont les différences de caractère. L'Anglais est naturellement indépendant et persévérant; il préfère marcher seul, plutôt que de se soumettre aux mille embarras d'une organisation compliquée, et lorsque le succès couronne ses premiers efforts, il n'aspire pas au repos immédiat, il ne cherche pas à réaliser de suite ses capitaux en cédant son entreprise à une compagnie d'actionnaires; il en fait plutôt une affaire de famille; il la développera graduellement pour ses enfants, qui, à leur tour, en prendront la direction. C'est ainsi que se sont constituées la plupart des grandes forges et des grandes fabriques du Royaume-Uni. Par là nos voisins ont échappé aux embarras nombreux et bien réels des grandes associations d'actionnaires.

Peut-être la constitution de la propriété foncière n'est-elle pas non plus entièrement étrangère au fait qui nous occupe. Ne pouvant placer en biens-fonds, aussi facilement que chez nous, les capitaux acquis, on est plus disposé à les laisser dans les entreprises industrielles.

Concurrence intérieure.

L'esprit d'entreprise et l'abondance des capitaux ont amené à leur tour une extrême concurrence; aussi, malgré la grandeur du marché et les facilités exceptionnelles que la situation de l'Angleterre offre de toutes parts à l'exportation, il n'en est pas moins vrai que la concurrence intérieure est plus grande en Angleterre que partout ailleurs; par suite, les bénéfices par tonne moins élevés que chez nous. Sous ce rapport, la France aurait donc l'avantage; mais ici encore on ne saurait méconnaître un progrès général vers l'uniformité. En France aussi la concurrence intérieure s'est largement développée; c'est elle, et non la prévision du traité de commerce, qui a amené la baisse sur le prix des fers dès les années 1857 et 1858.

Ainsi, en résumé, plus nous avançons et moins sera grande, sous ces divers rapports, la différence de la situation industrielle de la France et de l'Angleterre.

CHAPITRE IV.

HOUILLES.

§ 1er. *Production houillère.*

La houille est de beaucoup l'élément le plus important de l'industrie minière de l'Angleterre.

M. R. Hunt, dans les mémoires du *Geological Survey*, estime la production houillère du Royaume-Uni, pour l'année 1858, à 65.000.000 de tonnes, et sa valeur, sur le carreau de la mine, à raison de 5 shillings en moyenne la tonne, à la somme énorme de 16.250.000 liv. st., soit 406.750.000 francs, lorsque le poids total des autres minerais ne dépasse pas le chiffre de 8.500.000 tonnes (dont 8 millions de minerais de fer), et leur valeur vé-

nale (au sortir des ateliers de préparation mécanique, mais avant tout traitement métallurgique) la somme de 6.000.000 liv. st. ou 150.000.000 de francs. Ainsi les minerais forment le huitième environ du poids de la houille, et leur valeur les 0,40.

Depuis trente ans, la production de la houille a d'ailleurs plus que triplé en Angleterre ; car, pour les années 1831 et 1832, MM. Coste et Perdonnet ne l'évaluaient qu'à 20 millions de tonnes. Néanmoins, depuis quelques années, les progrès se sont ralentis, et à dater de 1856 on observe même une légère décroissance, causée par la crise commerciale de ces derniers temps et la faible activité de l'industrie des fers.

D'après M. Hunt on a extrait :

	tonnes.
En 1856.	66.645.450
En 1857.	65.394.707
En 1858.	65.008.649

§ 2. *Exportation de la houille et consommation comparées de la France et de l'Angleterre.*

Si la production de la houille a triplé en Angleterre depuis 1830, son exportation s'est accrue dans la proportion double de 1 à 6.

On l'estimait à un million de tonnes en 1831 ; elle dépasse aujourd'hui 6.500.000 tonnes ; car, selon M. Hunt, on a exporté :

	1856	1857	1858
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Houille proprement dite.	5.637.587	6.483.416	6.292.190
Coke	240.578	250.678	227.552
Anthracite	1.614	3.624	9.741
Totaux.	5.879.779	6.737.718	6.529.483

L'exportation correspond donc, à très-peu près, au dixième de la production.

C'est d'ailleurs la France qui, de tous les pays étrangers, reçoit la proportion la plus forte du charbon exporté ; on peut l'évaluer au cinquième de l'exportation totale, ou au cinquantième de la production entière du Royaume-Uni.

Le tableau résumé que nous publions ci-après fait connaître les provenances diverses des houilles anglaises que reçoit la France. Pour le présent, disons seulement que la statistique officielle du *Geological Survey* donne pour le total importé en France :

	tonnes.
En 1857.	1.279.133
et en 1858.	1.344.231 (1)

Mais ces chiffres paraissent un peu faibles ; car, d'après les documents publiés par la douane française, les importations anglaises s'élèvent, en houille et anthracite :

	tonnes.	tonnes.	
Pour 1857 à	1.471.981	dont 172.126	consommées par la marine.
Pour 1858 à	1.468.868	dont 164.989	*Id.*
Pour 1859 à	1.670.180	dont 205.119	*Id.*

et en coke :

	tonnes.
Pour 1857	6.495
Pour 1858	5.290
Pour 1859	4.465

Ajoutons que la Belgique fournit à la France à peu près deux fois autant de houille que l'Angleterre, l'Allemagne environ la moitié, et que ces deux contrées importent ensemble presque dix fois plus de coke.

(1) Page 140. De la statistique de R. Hunt pour 1858. — A la page 137 se trouve un chiffre un peu moins élevé.

D'autre part, d'après les documents de la douane, l'importation totale en France a été, pour la houille :

	tonnes.
En 1857 de.	4.663.149
En 1858 de.	4.768.310
En 1859 de.	5.013.614

et pour le coke :

	tonnes.
En 1857 de.	495.331
En 1858 de.	482.872
En 1859 de.	454.426

On voit par ces chiffres que les combustibles minéraux importés en France montent actuellement à 5.500.000 tonnes, ou correspondent en réalité à 6 millions de houille crue.

Sa production (1) est, d'autre part, de 7.500.000, et par suite sa consommation totale de 13.500.000; tandis que celle de l'Angleterre est de 60 millions, ou quatre fois et demie aussi grande.

Résumons dans le tableau suivant les quantités de houille extraites et exportées par les divers bassins anglais en 1858.

(1) D'après la statistique officielle :

	tonnes.
En 1857.	7,900.000
En 1858.	7.352.000
En 1859.	7.482.000

Production et exportation de la houille du Royaume-Uni en 1858. (Extrait de la statistique du *Geological Survey.*)
(Ce tableau a été dressé d'après les documents de la statistique anglaise, mais ne s'y trouve nulle part sous la forme que nous avons adoptée.)

NOMS DES BASSINS ou districts houillers.	COMTÉS sur lesquels s'étendent les districts houillers.	Nombre des mines	PRODUCTION	PORTS principaux d'exportation.	EXPORTATION totale. Houille.	EXPORTATION totale. Coke.	EXPORTATION en France. Houille et coke	OBSERVATIONS.
			tonnes.		tonnes.	tonnes.	tonnes.	
Bassin du Nord Est ou de Newcastle.	Durham, Northumberland, Cumberland.	303	16.773.621	Newcastle, Sunderland, Hartlepool, Middlesboro, Shields.	3.542.922	207.103	660.839	Ce bassin fournit des houilles à longue flamme, partie sèches, partie grasses.
Bassin du Centre, Branche Est, District de Leeds, Sheffield, Derby.	Yorkshire, Derbyshire, Nottinghamshire.	567	12.262.000	Hull, Grimsby.	249.178	1.793	84.555	Le bassin du Centre fournit presque la moitié de la production totale du Royaume-Uni; et les charbons du bassin sont en majeure partie secs et à longue flamme.
Branche Ouest, District de Manchester et Liverpool.	Lancashire, Cheshire, North-Staffordshire.	539	10.470.450	Liverpool.	475.565	8.041	24.406	
Partie Sud, District de Birmingham et Dudley.	South-Staffordshire, Worcestershire, Shropshire, Warwickshire, Leicestershire.	512	6.811.640	N'exporte pas.	»	»	»	
Bassin du Sud-Ouest, District de Cardiff ou du Pays de Galles.	Glamorganshire, Montmouthshire, Caermarthenshire, Pembrockshire.	352	7.495.289	Cardiff, Swansea, Newport.	1.369.350	6.118	354.354	Ce bassin donne des houilles grasses à courte flamme et des houilles anthraciteuses.
Bassin du Nord, District de Glasgow et d'Edimbourg.	Principalement : Lanarkshire et Ayrshire.	417	8.926.249	Borrowstoness, Glasgow, Alloa, Dundee, etc.	432.265	1.601	20.178	Houilles sèches à longue flamme.
Districts isolés situés en dehors des grands bassins.	Surtout dans le North-Wales et la presqu'île de Cornwall.	177	2.147.750	Divers ports.	227.992	2.296	»	Dans ce chiffre d'exportation est compris le port de Londres pour 107.743 tonnes qui reçoit une partie de ces charbons par chemins de fer.
Irlande.	Surtout dans le comté de Tipperary.	74	120.750	Divers ports.	4.659	»	»	Produit surtout des charbons anthraciteux.
Totaux.		2911	65.008.649	. . . . .	6.301.931	227.852	1.344.342	
				Exportation totale en houille et coke.		6.529.783		

Houille consommée par l'industrie des fers.

Sur les 60 millions de tonnes de houille que consomme l'Angleterre par an, 16 à 17 millions sont absorbés par la fabrication proprement dite du fer et de la fonte, savoir :

	tonnes.	tonnes.
Pour	3.500.000 de fonte.	10.500.000
Et pour	2.100.000 de fer en barres.	6.300.000
	Total.	16.800.000

Si l'on ajoutait à ce chiffre le combustible consommé par les usines où l'on fabrique l'acier, les machines, les outils et les appareils en fer de toutes sortes, on trouverait certainement que l'industrie du fer et de ses nombreux dérivés absorbe en Angleterre annuellement environ 25 millions de tonnes de houille (1).

Les chiffres que nous venons de rapporter montrent la supériorité de l'Angleterre au point de vue de la masse des combustibles.

Relativement à la France, production supérieure dans le rapport de 1 à 9, et consommation plus élevée dans la proportion 1 à 4 1/2.

§ 3. *Prix comparé de la houille en France et en Angleterre.*

Mais cette supériorité de l'Angleterre ressort surtout de la comparaison des prix. Sur le carreau de la mine, le prix moyen de la houille est dans le Royaume-Uni de 5 shillings, soit 6f,25 la tonne; tandis qu'en France il a varié, dans les années 1857 à 1859, entre 12f,50 et 12f,70, soit exactement le double (2).

(1) Dans le seul district du Sud-Staffordshire, où l'on fabrique 600.000 tonnes de fonte et 400.000 tonnes de fer, la consommation totale de la houille dépasse 5 millions de tonnes. C'est aussi le chiffre de la consommation de Londres, tandis que Paris n'en brûle que 600.000 tonnes.

(2) D'après la statistique officielle.

La différence est même plus grande encore, car le prix de 6f,25 s'applique presque exclusivement au charbon *criblé* ou *gros*, lorsqu'en France celui de 12f,60 correspond au *tout venant*. En comparant les prix des qualités identiques, l'écart sur les mines serait plutôt de 8 francs par tonne. La différence n'était pas aussi grande il y a vingt-cinq ou trente ans, et même il y a huit ou dix ans. En Angleterre, les prix de revient et les prix de vente ont très-peu haussé depuis 1830; tandis qu'en France le prix moyen sur les mines était (d'après les comptes rendus de l'administration des mines) de 9f,40 à 9f,50 vers 1830 à 1834, de 10 francs en 1847, puis de nouveau de 9f,50 en 1852, et maintenant de 12f,60, comme on vient de le voir (1). Tout semble annoncer, néanmoins, que l'écart des prix, dans les deux pays, est parvenu à une sorte de maximum, et qu'à l'avenir il y aura plutôt décroissance.

Dans les forges, l'écart des prix est plus élevé encore, grâce à la différence des frets.

En France, à la vérité, pour l'unité de distance, les frais de transport sont plutôt moindres; mais ce sont les distances qui sont en général plus grandes.

En Angleterre, les dépôts houillers occupent, à la fois, le centre et la circonférence du pays, et, par la mer, les points les plus importants du Royaume-Uni sont en relation directe avec les houillères.

En France, les bassins houillers, à part ceux du Nord et de la Vendée, sont tous groupés autour du plateau central, et se trouvaient, pour la plupart, jusqu'il y a peu d'années, presque inaccessibles aux consommateurs éloignés. Cependant, grâce aux chemins de fer,

(1) Ce prix moyen de la statistique officielle paraît un peu élevé, car dans la Loire il n'est pas supérieur à 11f.50 depuis 1858.

cet état de choses tend à se modifier; et par ce motif les avantages de l'Angleterre, sous le rapport des combustibles, s'amoindrissent peu à peu.

Néanmoins, quoi qu'on fasse pour alléger les transports, on ne peut changer les distances elles-mêmes; nos usines à fer resteront donc toujours, au point de vue des combustibles, dans un état d'infériorité très-marqué. Mais enfin l'écart sera évidemment d'autant plus faible que le fret lui-même sera moins élevé. Motif puissant pour améliorer nos canaux et nos rivières, supprimer tous droits de navigation et arriver, sur les voies ferrées, aux tarifs les plus réduits pour la houille.

Progrès de l'industrie houillère en France depuis 30 ans.

Mais si, sous ce rapport, nous avons encore des progrès à réaliser, il n'en est pas moins vrai que, depuis trente ans, notre industrie houillère s'est développée plus rapidement que l'industrie anglaise. Chez nos voisins, on vient de le voir, la production et la consommation ont triplé l'une et l'autre depuis 1830. En France, la production s'est accrue depuis la même époque dans la proportion de 1 à 4,5, et la consommation dans celle de 1 à 5,5. En effet, vers 1831 à 1833, le poids total des combustibles minéraux fournis annuellement par nos mines ne s'élevait qu'au chiffre moyen de 1.500.000 t. à 1.600.000 t., et la consommation à 2.500.000 t.; tandis qu'en 1859 notre production est montée à 7.500.000 t. et la consommation à 13.500.000 t.

Ces résultats, on le voit, sont fort encourageants, et si l'on doit regretter que la production indigène n'ait pas fait des progrès aussi rapides que la consommation, on peut être certain que l'achèvement des canaux et des chemins de fer, l'abaissement des droits et des tarifs contribueront plus que toute autre mesure à combler le déficit.

Pour compléter les renseignements statistiques concernant le commerce des houilles, donnons encore, d'après le *Geological Survey*, les quantités exportées par les principaux ports anglais en 1858, et les quantités importées en France.

Exportation des houilles anglaises.

NOMS des bassins.	NOMS des ports.	HOUILLE exportée.	CORE exporté.
		tonnes.	tonnes.
Bassin du Nord-Est. . .	Newcastle.	1.748.230	115.488
	Sunderland.	957.529	33.147
	Hartlepool	492.466	38.386
	Shields	242.291	3.071
	Stockton.	95.904	17.011
	Divers autres ports.	6.502	»
		3.542.922	207.103
Bassin du Centre	Liverpool	466.167	8.546
	Hull.	130.476	1.778
	Grimsby	93.167	15
	Divers autres ports. .	34.933	95
		724.743	10.434
Bassin du Sud-Ouest . .	Cardiff.	794.532	4.209
	Swansea.	268.513	571
	Newport.	206.705	1.338
	Llanelly.	81.831	»
	Divers autres ports.	17.769	»
		1.369.350	6.118
Bassin du Nord.	Borrowstoness. . . .	128.823	19
	Glasgow.	55.482	1.214
	Alloa	71.856	8
	Dundee.	40.659	»
	Grangemouth.	37.702	95
	Kirkaldy	36.005	»
	Greenock.	28.695	26
	Leith.	28.229	19
	Divers autres ports.	4.814	220
		432.265	1.601
Irlande.	Dublin	4.659	»
	Belfast, etc.		
Ports d'exportation plus ou moins distants des bassins houillers . . .	Londres.	107.743	1.935
	Portsmouth.	1 262	»
	Divers autres ports.	2.686	»
		111.711	1.935

On a de plus exporté en *agglomérés* (patent fuel) 49.203 tonnes, dont les 9/10 par Swansea.

Importation des houilles anglaises en France (1858).

PROVENANCE DES HOUILLES ANGLAISES.

PORTS FRANÇAIS d'importation.	BASSIN du Nord-Est.	BASSIN du Centre.	BASSIN du Sud-Ouest	BASSIN du Nord.	TOTAUX.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Dieppe	114.247	40.383	32.180	4.458	191.268
Havre	131.684	6.328	40.179	60	178.251
Bordeaux	84.526	21.161	43.974	6.276	155.937
Nantes	39.255	6.930	76.744	2,455	125.354
Rouen	61.760	16.527	19.056	2.129	99.472
Marseille	31.856	3.344	52.015	60	87.275
Boulogne	63.805	578	260	240	64.883
Caen	38.029	1.290	7.362	48	46.729
Dunkerque	33.907	4.167	333	984	39.391
Calais	31.658	535	1.487	50	33.730
Saint-Malo	17.052	»	12.039	»	29.091
Divers autres ports.	211.124	7.598	70.680	3.418	292 820
Totaux	858.903	108.841	356.309	20.178	1.344.231

Après la France, les principaux pays qui reçoivent es houilles anglaises sont :

	tonnes.
Allemagne (compris l'Autriche), surtout par Hambourg.	1.142.186
Danemark	344.667
Russie	306.306
Suède et Norwége	230 443
Hollande	245.552
Espagne	251.423
Italie	208.419
Turquie	198.031
Indes orientales	258.807
Indes occidentales	215.615
Amérique du Nord	363.628
Amérique du Sud	269.415
Afrique	166 653
Etc.	

§ 4. *Production spécifique moyenne des houillères.*

On a souvent reproché à nos mines de houille la faiblesse relative de leur production spécifique, et on la représente comme très-inférieure, sous ce rapport, aux houillères anglaises. Il n'en est pourtant rien, comme il est facile de le démontrer; ou, du moins, s'il existait encore entre elles une certaine différence vers 1850, elle est nulle depuis deux ou trois ans.

En 1858, les 65 millions de tonnes de houille étaient fournies, d'après la statistique officielle du Survey par 2.941 mines, savoir :

2.450 en Angleterre et le pays de Galles,
417 en Écosse,
74 en Irlande,

Total : 2.941 dans le Royaume-Uni;

ce qui donne, comme production moyenne par mine 22.000 tonnes.

En France, le nombre des houillères était, en 1858, de 292 pour une production de 7.352.000 tonnes; soit une moyenne par mine de 25.000 tonnes; tandis qu'en 1852, elle n'était encore que de 17.000 tonnes.

Nous devons ajouter pourtant que dans le bassin de Newcastle, pris à part, la production spécifique par houillère est de 55.000 tonnes. Quant à la production moyenne par *puits*, elle est plus considérable en Angleterre qu'en France.

§ 5. *Étendue des bassins houillers anglais.*

L'étendue des dépôts houillers est difficile à évaluer et, par le fait, on trouve, dans les documents publiés, des appréciations très-diverses qui varient presque du simple au double. Cette divergence s'explique par la

circonstance que plusieurs bassins houillers se prolongent sous des terrains secondaires à des distances encore inconnues, et que certains géologues comprennent, dans leurs évaluations, uniquement les *coal-measures*, tandis que d'autres y ajoutent les parties du *millstone-grit* et du *calcaire carbonifère* qui renferment çà et là des combustibles de qualité inférieure.

En admettant ces dernières bases, on trouve que l'étendue totale des 51 bassins, ou plutôt districts (*coal-fields*), de l'Angleterre, est de 11.859 milles quarrés, ou le dixième de la superficie totale du Royaume-Uni. C'est le chiffre que l'on trouve dans la statistique houillère de M. Taylor, publiée en 1848, et c'est aussi le chiffre que nous a donné, dans une lettre récente, M. R. Hunt.

Cette superficie se décompose ainsi :

En Angleterre même	6.029 milles quarrés	1/8	du pays.
En Wales	1.160	— 1/6	—
En Écosse	1.720	— 1/18	—
En Irlande	2.940	— 1/18	—
Total	11.859	— 1/10	—

Mais si l'on retranche de là certaines parties presque stériles des bassins de l'Écosse, du Devonshire et de l'Irlande, ainsi que le *millstone-grit* du centre et du nord de l'Angleterre, il ne reste plus qu'une étendue utile d'environ 7.000 milles quarrés, ou 1.813.000 hectares (1).

Ce chiffre de 7.000 milles quarrés se décompose d'ailleurs ainsi :

(1) M. Burat, dans les publications du comité des houillères, année 1860, p. 135, admet 1.500.000 hectares, et MM. Dufrénoy et E. de Beaumont 1.572.641, d'après la carte de Greenough. (*Texte de la carte géologique de France*, t. I, p. 502.)

	milles quarrés.
Bassin central :	
District du Sud-Staffordshire (Dudley)	100
District de Manchester	600
Districts de Leeds, Sheffield, Derby	1.019
Bassin du Nord-Est :	
District de Newcastle	780
Bassin du Sud-Ouest :	
District du pays de Galles (Sud)	950
Bassin du Nord :	
Écosse	1.200
Irlande (peu exploré), environ	1.000
Ensemble des bassins moins importants de Bristol, forest of Dean, Whitehaven, N. Staffordshire, N. Wales, etc	1.360
Total	7.000

Les 4.800 à 5.000 milles quarrés du terrain, presque stérile, inférieur se répartissent approximativement de la manière suivante :

	milles quarrés.
Bassin central :	
Millstone grit du sud Yorkshire	750
Millstone grit du Lancashire	250
Bassin du Nord-Est :	
Millstone grit du Northumberland	550
Bassin du Sud-Ouest :	
Millstone grit du pays de Galles	80
Calcaire carbonifère et millstone grit du Devonshire	830
Bassin du Nord :	
Terrain stérile du bassin d'Écosse	520
Terrain anthraciteux stérile ou peu exploré d'Irlande environ	1.940
Total	4.900

En regard de ces chiffres, rappelons que la surface

houillère de la France est de 320 à 340.000 hectares (1), soit 1/5 de celle de l'Angleterre.

Ainsi, avec une superficie houillère montant au cinquième de celle de l'Angleterre, notre production n'est pourtant que le neuvième de celle de nos voisins; en sorte que l'activité spécifique de nos districts houillers se mesure par un chiffre peu supérieur à la moitié de celle du Royaume-Uni.

Cette infériorité si regrettable, nous tenons à le déclarer de nouveau, provient exclusivement de la situation topographique si différente des bassins houillers dans les deux contrées.

En Angleterre, le voisinage de la mer et de faciles voies de communication, d'une faible longueur, ont partout favorisé le travail des mines; tandis qu'en France la position centrale de nos districts houillers s'est constamment opposée à l'écoulement des produits. Néanmoins, grâce aux voies ferrées et au prix élevé de la houille en France, cet état de choses se modifie journellement; aussi notre production houillère, comme on l'a déjà vu, s'accroît plus rapidement que celle de l'Angleterre, et l'on peut prévoir l'époque où, par hectare de terrain houiller, nos mines fourniront à la consommation presque autant de combustibles que les fosses de nos voisins d'outre-mer.

§ 6. *Propriétés des mines et redevances.*

Les richesses minérales appartiennent, en Angleterre, aux propriétaires du sol; ils peuvent ouvrir des

(1) MM. E. de Beaumont et Dufrénoy ne l'évaluaient, en 1841, qu'à 280.000 hectares; mais depuis lors on a découvert le prolongement de plusieurs bassins sous les terrains modernes, en particulier dans le Pas-de-Calais, la Moselle, le Gard, l'Allier, etc.; en sorte que le chiffre de 340.000 hectares, admis par M. Burat, est évidemment plus rapproché de la réalité.

mines sans concession spéciale et sans le contrôle de l'Etat. La plupart cèdent ce droit à un ou plusieurs fermiers contre le payement d'une *royalty* fixée de gré à gré.

En 1842, l'ingénieur Piot constatait que, sur quarante-huit mines des environs de Newcastle, cinq seulement étaient exploitées par les propriétaires eux-mêmes.

Il en est ainsi dans toutes les parties du Royaume-Uni, où d'ailleurs bien souvent, comme on l'a vu dans le précédent chapitre, un seul et même fermier exploite à la fois la houille, le minerai et la castine, et élève encore des forges pour la fusion du minerai.

Les redevances (*royalties*), faibles à l'origine, se sont accrues progressivement et forment aujourd'hui une charge fort lourde, eu égard surtout au prix de la houille.

Aussi, à part de rares exceptions, en Angleterre comme dans le département de la Loire, ce sont les propriétaires du sol et non les exploitants qui ont été enrichis par le travail des mines.

Dans la partie ouest du district de Dudley, où la concurrence entre les extracteurs est venue en aide aux prétentions déjà fort exagérées des propriétaires du sol, on paye dans certaines mines jusqu'à 2 et 3 sh. par tonne de 2.640 liv. (2f,10 à 3f,15 par tonne de 1000 kil.), et Piot citait déjà, en 1842, pour Newcastle, des redevances de 1 sh. 3 p. par tonne de 2.240 liv. (1f,54 par tonne de 1000 kil.).

La royalty moyenne des mines de Newcastle n'est cependant aujourd'hui encore que de 6 pences par tonne, ou de 60 centimes par 1.000 kil. Mais pour l'ensemble des grands districts houillers de l'Angleterre on peut admettre 6 à 9 pences (75 centimes par 1000 kil.) comme

moyenne générale. soit 12 pour 100 du prix de vente de 5 shillings (6f,25) ; à quoi il faut encore ajouter les 4 pour 100 de l'*income-tax*.

Ce sont à peu près les conditions du département de la Loire, si l'on fait abstraction de la valeur absolue du produit extrait.

Ainsi, en 1858, les mines de Saint-Étienne ont extrait 1.270.800 tonnes de houille et ont payé :

	fr.
En redevances tréfoncières aux propriétaires du sol.	998.381
En redevances proportionnelles et fixes, à l'État, la somme de.	333.299

Soit o^f,78 par tonne aux propriétaires et o^f,26 à l'État.

Ces redevances sont d'aillleurs inégalement réparties, et, de même que certaines mines du Sud-Staffordshire payent 2^f,10 à 3^f,15, il est des houillères de la Loire qui payent jusqu'à o^f,50 et o^f,60 à l'État, et o^f,90 jusqu'à 1^f,20 aux propriétaires du sol.

Néanmoins comme, sous le rapport de la propriété tréfoncière, le département de la Loire fait exception, il est certain qu'au point de vue des redevances à payer, les mines anglaises sont dans des conditions bien moins favorables que les houillères françaises ou belges.

En France, la redevance totale payée à l'État a été, pour l'ensemble des houillères :

	fr.	tonnes.	fr.
En 1851 de	434.033	pour 4.485.034,	soit par tonne 0,10
En 1852 de	485.193	pour 4.903.900,	soit par tonne 0,10
En 1857 de	1.303.219	pour 7.901.000,	soit par tonne 0,16

orsqu'en Angleterre, même sans l'*income-tax*, la redevance est de o^f,75 (1) ; et cette différence paraîtra

(1) Ce sont à peu près les conditions des mines de houille de la Prusse, où la redevance payée à l'État est de o^f,80 à o^f.90. (De Marsilly, *Annales des mines*, 5^e série, t. XVII, p. 137.)

surtout considérable, quand on la rapproche du prix de vente moyen qui est précisément double en France, comme on l'a dit plus haut.

Ajoutons qu'en Angleterre les redevances vont sans cesse croissant, tandis que dans le département de la Loire elles décroissent avec la profondeur, au moins jusqu'à une certaine limite ; puis n'oublions pas que les exploitants sont chez nous propriétaires et non simples amodiataires, exposés à supporter, en outre, au terme de leur bail, une forte perte sur l'ensemble du matériel.

A la vérité, les redevances payées en Angleterre sont moins un impôt qu'un fermage. Les propriétaires du sol, lorsqu'ils exploitent eux-mêmes, sont quittes de tous droits ; mais peu importe au fond, puisque l'industrie des mines est presque exclusivement, comme dans le département de la Loire, aux mains des amodiataires ou concessionnaires, et non des propriétaires, et que ces derniers ne participent jamais aux frais de recherches et d'installation (1). Ainsi, on ne saurait assez le répéter, les redevances ou charges indirectes qui pèsent sur les travaux de mines sont réellement plus élevées en Angleterre qu'en France ; ce n'est donc pas dans l'absence d'impôts proprement dits que réside le secret de leur supériorité ; elle est due essentiellement à l'étendue si vaste des dépôts houillers, qui a partout amené une extrême concurrence, et surtout à la proximité si générale de la mer, qui ouvre à chaque mine un débouché sans bornes et permet à l'exploitant de se contenter d'un minime bénéfice par tonne.

(1) Nous rappelons ce que nous avons déjà dit (page 159) que les propriétaires du sol entreprennent parfois des sondages pour pouvoir mieux régler le taux de la redevance.

§ 7. *Méthodes d'exploitation.*

Nous ne dirons rien ici des diverses méthodes d'exploitation. Elles ont été plusieurs fois décrites et n'offrent d'ailleurs rien de particulier. Nous ferons remarquer seulement que, sous ce rapport, les mines anglaises ne sont en rien supérieures aux nôtres; au point de vue technique, nous exploitons même mieux, parce que le prix de vente plus élevé permet de mieux épuiser les veines.

En Angleterre on perd infiniment plus de combustible que dans nos mines, et spécialement la majeure partie du menu.

Dans le Staffordshire, on a ainsi sacrifié la moitié de la houille, et l'on y perd encore, ainsi qu'en Écosse, au moins le quart. Le seul point où nous soyons en général moins avancés, ce sont les procédés de roulage. Les Anglais savent tirer meilleur parti des moteurs inanimés; mais, disons de suite, que la régularité des gîtes et le facile écoulement des produits autorisent chez eux des installations que nos couches si accidentées et le faible produit moyen de nos puits permettent rarement.

§ 8. *Prix de revient.*

Le prix de revient de la houille varie peu en Angleterre d'un district à l'autre; il est généralement compris entre 3 sh. 6 p. et 5 shillings. S'il est un peu plus élevé dans le Sud-Staffordshire, il faut l'attribuer spécialement au taux élevé de la *royalty* dans ce district. Ainsi, à part les environs de Dudley, le prix de revient ordinaire est de 5 à 6 francs les 1000 kil. Il est cependant des mines dans le bassin du Nord-Est, près de Durham, où, grâce à la faible dureté du charbon, le

prix de revient est à peine de 3 shillings (3f,50 à 4 fr.). Mais ces mines sont éloignées de la mer et la *royalty* y est encore faible.

On trouve en France quelques mines privilégiées dont les frais d'extraction ne sont pas plus élevés, mais en général on se rapproche plutôt de 7f,50 à 9 francs (1). La différence serait donc de 2f,50 à 3 francs, ou moitié en sus.

L'écart est dû, il importe de le rappeler, à la régularité plus grande des couches en Angleterre, et surtout à l'enlèvement plus complet du charbon dans nos mines. Presque toujours aussi nos frais généraux sont plus élevés, soit parce que le foncement des puits au travers des *morts-terrains* est plus coûteux en France, comme dans le Nord, le Pas-de-Calais et la Moselle; soit parce que l'irrégularité de nos dépôts abaisse en général le produit moyen par puits; soit enfin, comme nous venons de le dire, parce qu'on fait entrer les intérêts en ligne de compte.

L'écart du prix de vente est plus considérable que celui des prix de revient.

Cette différence entre les prix de revient, dans les deux contrées, est néanmoins encore fort éloignée de l'écart des prix de vente, qui est parfois de 8 francs pour les qualités identiques. Mais aussi, par suite de la grandeur des débouchés, on peut se contenter souvent, en Angleterre, d'un bénéfice moyen de 1 shilling par tonne (1f,25 par 1000 kil.); lorsqu'en France et en Belgique il faut arriver à 3 ou 4 francs pour obtenir des capitaux engagés le même taux d'intérêt (2).

---

(1) Ces prix comprennent souvent en France les intérêts d'une partie au moins des capitaux engagés, ce qui n'est pas le cas en Angleterre.

(2) On peut consulter sur ce sujet le mémoire déjà plusieurs fois cité de M. de Marsilly : *Situation commerciale des houil-*

§ 9. *Constitution géologique des bassins houillers.*

La constitution géologique des bassins houillers anglais est généralement connue; nous nous y arrêterons peu.

Par l'ensemble de leurs caractères ils se rapprochent davantage du long bassin de la Belgique et du Nord de la France, que des lambeaux houillers, plus ou moins tourmentés, de notre plateau central. Leur uniformité est cependant moins grande qu'on ne le suppose d'ordinaire, Dans le centre de l'Angleterre et dans le Sud-Stafforshire en particulier, la formation houillère est certainement tout aussi changeante, sous le rapport de la nature et de la puissance de ses diverses parties, que celle du plateau central en France.

Le système carbonifère se compose de trois terrains.

Le système carbonifère se compose, comme on sait, de trois terrains distincts : le *calcaire carbonifère*, le *millstone-grit* et les *coal-measures*. Ces trois terrains se succèdent parallèlement, quoique parfois en stratification transgressive. Des oscillations, tantôt lentes et graduelles, tantôt plus ou moins saccadées, ont affecté le sol pendant tout le cours de la période carbonifère. Évidemment, dans le centre de l'Angleterre, le long de la chaîne Pénine, le millstone-grit ne s'est pas déposé partout sur le calcaire carbonifère, ni les coal-measures sur le millstone-grit. Ainsi que l'a fait remarquer M. E. de Beaumont, il y a là plus qu'un simple fait d'érosion ou de dénudation postérieure (1). D'autre part, dans la partie ouest du pays de Galles, chacun des trois

lères du Nord et du Pas-de-Calais. (*Annales des mines*, 5e série, t. XVII. — Voyez spécialement page 204.)

Dans la Loire, le bénéfice moyen est de 5 fr. à 5f,50 lorsqu'on ajoute aux dividendes distribués les intérêts de la dette.

(1) *Notice sur les systèmes de montagnes*, t. I, p. 274.

terrains de la période houillère, et même le vieux grès rouge, viennent successivement déborder le terrain directement inférieur, puis s'étendre l'un après l'autre sur les schistes et calcaires siluriens (1).

Dans le Sud-Staffordshire, auprès de Dudley, on voit également les coal-measures reposer directement sur le calcaire silurien, et même dans le district de Coalbrookdale, sur les Cambrian rocks (2).

Dans le sud et le centre de l'Angleterre, les coal-measures seules renferment de la houille exploitable; tandis que dans le Nord et surtout en Écosse on en trouve aussi au milieu du millstone-grit et jusque dans le calcaire carbonifère.

Puissance des trois terrains.

Le *calcaire carbonifère* du pays de Galles n'a qu'une puissance de 500 à 1000 pieds anglais, et se compose d'ailleurs presque exclusivement de bancs calcaires proprement dits; tandis que plus au nord, le long de la chaîne Pénine, sa puissance est d'au moins 2.000 pieds. En même temps, des schistes viennent, vers le haut de la formation, en partie se substituer au dépôt calcaire.

Au delà encore, et spécialement en Écosse, là où apparaissent les couches de houille, des bancs de grès alternent à leur tour avec les schistes et le calcaire carbonifère, et accroissent de plus en plus l'épaisseur de la formation (3).

La puissance du *millstone-grit* varie dans le même sens que celle du calcaire carbonifère. Au sud du pays de Galles elle dépasse rarement 100 à 200 pieds, tandis

(1) Même ouvrage, p. 275.

(2) Préface, p. 13, de la description du district houiller du Sud-Staffordshire dans les mémoires du *Geological Survey*.

(3) Mémoires du *Geological Survey*. — District houiller du Sud-Staffordshire, p. 11 de la préface.

qu'elle augmente vers le centre et le nord, et y atteint souvent plus de 1000 pieds; mais son épaisseur réelle est impossible à fixer d'une façon précise, car ses limites supérieure et inférieure sont par le fait un peu arbitraires.

Dans tous les cas, le terrain houiller proprement dit (les *coal-measures*) dépasse en puissance les deux étages inférieurs réunis. On évalue à 7.000 pieds, sinon à 10 ou 12.000 pieds sur certains points, l'épaisseur totale des coal-measures du South-Wales.

A Dudley, il est vrai, le terrain houiller n'a que 1000 pieds; mais déjà dans le Nord-Staffordshire il mesure avec le millstone-grit 4 à 5.000 pieds.

A Newcastle et en Écosse, la puissance totale des dépôts houillers n'est pas encore connue rigoureusement, mais surpasse 2.000 pieds dans tous les cas; et, aux environs de Glasgow, l'ensemble du système carbonifère, contenant des couches de houille, va pour le moins à 4.000 pieds.

Roches sédimentaires du système carbonifère.

Les roches du terrain houiller appartiennent surtout à la classe des schistes et des grès fins.

Les grès et poudingues grossiers y sont rares et caractérisent plutôt le millstone-grit, et parfois aussi, comme dans le pays de Galles, les parties les plus élevées du dépôt houiller (les *Pennant rocks*), qui sont alors stériles comme les grès de la base.

Roches éruptives du terrain houiller.

Les bassins houillers du Centre et ceux d'Écosse sont traversés par des roches d'origine ignée qui souvent s'intercallent parallèlement aux bancs du terrain: c'est le pendant exact des roches appelées dans nos bassins du plateau central: *wacke*, *dioritine*, *basaltine*, *roche noire*, *pierre carrée*, etc. En Angleterre on les nomme: *toadstone*, *whinstone*, *greenrock*, *white-rock-trapp*, etc.

Un caractère spécial des roches houillères anglaises,

c'est leur infusibilité. Le millstone-grit sert pour les creusets des hauts-fourneaux, et les argiles schisteuses sont souvent réfractaires; tandis que, dans nos bassins du plateau central, les grès font effervescence avec les acides, et les argiles fondent au feu de forge; cette infusibilité des roches houillères se retrouve jusque dans les cendres des combustibles anglais qui laissent le plus souvent sur les grilles beaucoup moins de mâchefers que les houilles françaises.

Puissance des couches de houille.

Dans la plupart des districts anglais, les couches de houille ont une puissance faible; les veines de 2 mètres sont rares, comme en Belgique et dans le nord de la France. Cependant, sous ce rapport encore, le district du centre fait exception, et ressemble plutôt à nos dépôts à couches puissantes du plateau central. Dans le Staffordshire en particulier, la principale couche a jusqu'à 9 mètres (*ten-yards-coal*) ou (*thick-coal*); alors aussi, comme en France, les épaisseurs changent d'un point à un autre; souvent même ces puissantes veines se subdivisent en trois ou quatre par des intercallations plus ou moins épaisses de schistes et de grès.

Le nombre total et la puissance accumulée de toutes les couches de houille varient avec les districts et ne sont pas même encore rigoureusement connus. Dans tous les cas, nous sommes à cet égard mieux partagés que nos voisins. Rarement, en Angleterre, l'épaisseur totale des couches atteint 100 pieds (30 mètres) (1), tandis qu'en France, dans plusieurs bassins, elle s'élève au double. Ainsi, par hectare de superficie, nos richesses houillères l'emportent sur celles de l'Angleterre; et, jusqu'à un certain point, nous regagnons en hauteur ce qui nous manque en étendue.

(1) Il faut en excepter le petit bassin de *Coalbrookdale*, où la puissance totale du charbon va, dit-on, au delà de 100 mètres.

Minerais de fer des houillères.

Les terrains carbonifères renferment, outre la houille, du minerai de fer. Nous nous en occuperons dans le chapitre suivant. Rappelons seulement, pour le moment, que tous les bassins n'en contiennent pas également. Ceux de Newcastle et du Lancashire en sont presque dépourvus, et dans les autres districts, à part le *black-band*, le minerai houiller se rencontre presque uniquement vers la base de la formation.

Argile réfractaire.

Avec la houille, on exploite aussi l'argile réfractaire; elle se trouve à tous les niveaux, et dans certains districts (*Stourbridge*), elle est de qualité tout à fait supérieure.

Sous ce rapport, comme sous celui des minerais, les bassins français diffèrent notablement de ceux du Royaume-Uni.

Fossiles du terrain houiller.

Le calcaire carbonifère et le millstone-grit sont, comme on sait, d'origine marine.

Les coal-measures, par contre, renferment, outre ces mêmes débris marins, des coquilles lacustres et des plantes terrestres. Dans les minerais de fer en particulier, outre les *Anthracosia*, autrefois confondues avec les *Unio*, les fossiles marins et les poissons sont fréquents (Staffordshire, Derbyshire et pays de Galles). Au milieu du charbon même, on rencontre également assez souvent des *Anthracosia*.

Voici, d'après M. Salter, la liste des fossiles que renferme le minerai de fer du Staffordshire :

Plusieurs espèces d'*Anthracosia*, dont l'une, l'*A. bipennis*, de Brown;

Discina (*orbicula*) *nitida*, de Philipps;

Producta scabriculd (Sow);

Lingula elliptica (Philipps);

Conularia quadrisulcata;

Myalina quadrata et *carinata*;

Outre cela, des dents et écailles de poissons des espèces suivantes :

Gyracanthus formosus;
Holoptychius;
Mégalicthys Hibberti;
Cochleidus, etc.

§ 10. *Nature des houilles.*

L'Angleterre renferme toutes les espèce de houille, depuis l'anthracite jusqu'aux charbons les plus secs à longue flamme.

L'*Anthracite* existe surtout dans la partie la plus occidentale du pays de Galles, au delà du méridien de Swansea. Là le terrain houiller repose presque directement sur les roches cristallisées, et a dû nécessairement être modifié, d'une façon plus intense, par la chaleur centrale, que dans les contrées où le sous-sol se compose d'une épaisse croûte de dépôts siluriens et dévoniens.

Les houilles *anthraciteuses* ou *maigres* se rencontrent auprès de Swansea même; puis, à mesure que l'on avance vers l'est et que le terrain dévonien se développe sous la formation houillère, les charbons deviennent graduellement plus gras, sans toutefois dépasser jamais la classe des *houilles grasses à courte flamme* : c'est là le type dominant des houilles du pays de Galles. On les connaît dans le commerce sous le nom de charbons de *Cardiff*, d'après le principal port d'embarquement des houilles de cette partie de l'Angleterre. Ce sont des charbons dont le pouvoir calorifique est fort élevé et que l'on recherche spécialement pour la navigation à vapeur (*steam coal*). Ils donnent, par les procédés ordinaires de carbonisation, 60 à 70 p. 100 de coke compacte et dur, d'un gris argentin un peu foncé.

Les *charbons gras* proprement dits, et surtout les *charbons gras à longue flamme*, caractérisent spéciale-

ment les environs de Durham et d'Aukland, dans le bassin de Newcastle, et certaines parties du bassin central (branche Est) (Yorkshire). Ils sont plus durs que les précédents, donnent une proportion plus forte de gros, et, soumis à la carbonisation, fournissent un beau coke blanc argentin et boursouflé, dont la proportion varie de 50 à 60 p. 100.

Enfin, les bassins du Centre et l'Écosse livrent presque exclusivement des *houilles sèches à longue flamme*, dont la dureté est très-grande, mais dont le coke est, sinon pulvérulent, au moins toujours imparfaitement fritté. Plus de la moitié des houilles consommées en Angleterre appartiennent à cette classe; elles alimentent en particulier presque exclusivement les forges du Staffordshire et de Glasgow, brûlent avec fumée toujours fort abondante, et contribuent largement à rembrunir l'atmosphère, déjà si brumeuse, de Londres, Birmingham et Manchester.

La France possède les mêmes sortes de houille que l'Angleterre.

La France possède les mêmes sortes de houille que l'Angleterre, si ce n'est, en proportion moindre, les charbons secs à longue flamme, avantage évident, puisque leur pouvoir calorifique est faible et que le menu de ces charbons est d'un emploi difficile.

Aux anthracites et houilles anthraciteuses des environs de Swansea correspondent divers charbons du Nord, de la Mayenne et de la Loire.

Aux Cardiffs proprement dits, les houilles demi-grasses de Valenciennes et une partie des houilles du système inférieur de Saint-Étienne (Méons, Roche-la-Molière, etc.), dont le pouvoir calorifique est aussi élevé que celui des meilleurs charbons du pays de Galles.

Aux charbons gras à coke et à gaz de Newcastle, les houilles grasses à longue flamme de la plupart de nos bassins.

Enfin, aux houilles sèches à longue flamme, si abondantes en Angleterre, le charbon de Blanzy et, en général, celui des couches supérieures de Saône-et-Loire et de l'Allier.

Lorsqu'on compare nos houilles aux charbons anglais similaires, on est frappé de leur identité complète sous le double rapport de leur pouvoir calorifique et de la composition chimique de la matière combustible proprement dite.

A ce point de vue, il n'y a en réalité entre eux aucune différence, et cependant les charbons français sont bien réellement d'un emploi moins facile.

Les charbons français sont plus friables que les charbons anglais.

Ils sont plus *friables* et laissent une proportion plus forte de *mâchefer*. Quant à la dureté, la moyenne générale est plus élevée en Angleterre, parce que la proportion relative des charbons à longue flamme y est plus forte, et qu'un combustible minéral est, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus dur qu'il renferme plus d'oxygène. Mais, même en comparant des houilles de composition identique, les Cardiffs, par exemple, à nos charbons gras à courte flamme, on trouvera, sous le rapport de la dureté, une différence en faveur des charbons anglais. Ils supportent mieux les transports, et l'abatage fournit une proportion plus forte de gros. La cause de cette différence nous paraît double.

En premier lieu, nos bassins houillers sont en général plus fortement comprimés et redressés; et en second lieu, le mode d'exploitation favorise moins la conservation du gros. Il est évident, en effet, qu'une couche *mince*, exploitée par la méthode des piliers abandonnés, donnera nécessairement plus de gros et du charbon moins froissé qu'une couche puissante que l'on dépile par remblayage complet et tranches successives.

Les charbons anglais sont plus propres que les charbons français.

Les charbons français laissent ensuite plus de *mâchefers*, telle est la plainte assez générale de nos officiers de marine ; souvent aussi, comme le dit fort bien M. de Marsilly, ils sont *moins propres*, c'est-à-dire, antérieurement à tout triage ou lavage, chargés d'une proportion plus forte de cendres et de fragments de schistes.

Au reste, même lorsqu'ils ne diffèrent pas par la proportion des matières terreuses, la dose de mâchefer est plus grande en France, à cause de la fusibilité des cendres.

En Angleterre, en effet, les cendres restent pulvérulentes et passent facilement au travers des grilles, tandis qu'en France elles empâtent les escarbilles et obstruent les chauffes.

Essais comparatifs de la marine impériale.

A l'appui de ce que nous venons de dire, citons les résultats faits par la marine impériale, en 1859 et 1860, dans plusieurs de nos ports. Ces expériences ont été entreprises pour substituer, dans le service de la marine, les houilles indigènes aux charbons étrangers. Dans chaque port, on a fait une double série d'essais ; essais de vaporisation à l'aide d'une chaudière fixe sur terre, et essais sur les bâtiments mêmes dans des excursions en mer.

Les résultats obtenus ne sont sans doute pas rigoureusement comparables, car les chaudières d'essais, dans les divers ports, n'étaient pas identiques. Ainsi, à Toulon, on a eu constamment des chiffres plus élevés qu'à Brest, Indret et Cherbourg ; néanmoins, les rapports entre les diverses sortes de houilles restent sensiblement les mêmes, lorsqu'on compare entre eux les résultats des divers ports (1).

(1) Ces notes nous ont été fournies avec la plus grande complaisance dans les bureaux du ministère de la marine. Presque toutes les observations sur les qualités des diverses houilles ont été copiées sur les registres mêmes du ministère.

1° *Expériences faites à Indret.*

(Tous les charbons essayés sont sous forme de gros fragments).

ORIGINE DES HOUILLES.	HOUILLE brûlée par heure et par mètre carré.	EAU vaporisée par kilogramme de houille.	CENDRES et escarbilles.	MACHEFER.	POIDS de l'hectol. ras de houille.	Observations.
Houilles grasses à courte flamme.	kilog.	kilog.	p. 100	p. 100	kilog.	
Cardiff (des environs de Merthyr)	93	8,95	6,25	0,75	74,5	
Cardiff, mélange de divers charbons du pays de Galles	»	6,40	5,08	2,00	»	(a)
Roche la Molière (Loire). Saignat	82,5	8,30	7,00	7,50	74	(b)
Grand-Combe, couche Abylon	87,5	7,80	12,00	3,50	80	(c)
Houilles grasses maréchales.						
Puits de la Pompe au Treuil (Loire), 13me couche	95	7,40	16,50	4,00	75	(d)
Puits Chatelus, 3me couche de Beaubrun (Loire)	102	8,15	7,00	0,50	68	(e)
Houilles à longue flamme sèches ou peu grasses.						
Newcastle	»	5,54	3,00	2,00	»	(f)
Grimsby	»	6,11	3,87	0,63	»	(g)
Blanzy	126	6,15	10,50	0,50	75	(h)
Bézenet	99	6,80	9,00	8,00	73	(i)
Couche des Littes à Montrambert	93	7,95	8,50	3,50	73	(j)

(a) Les charbons de Cardiff sont friables, tendres, difficiles à allumer. — De tous les charbons anglais ce sont ceux qui ont le pouvoir calorifique le plus élevé.

(b) La couche de la Grille de Roche la Molière a donné un résultat presque identique, si ce n'est moins de mâchefer et plus d'escarbilles. — Les expériences faites à Indret prouvent également que, comme charbon de forge, le Saignat est supérieur au charbon de Sunderland employé jusqu'ici.

(c) Ce charbon brûle lentement et crasse la grille.

(d) Charbon tendre et gras, forme croûte sur la grille, ce qui oblige de ringarder souvent.

(e) Très-bon charbon ; forme croûte, mais ne crasse pas.

(f) Mélange de plusieurs mines ; charbon dur, terne, à longue flamme, ne colle pas ; ce n'est pas du charbon à coke, mais pour grille.

(g) Grimsby est le port des houilles du Derbyshire. — Charbon sec à longue flamme ; brûle avec vivacité et fumée épaisse.

(h) Brûle rapidement, crasse un peu, mais vaut néanmoins les charbons secs ordinaires de Newcastle, Sunderland et Grimsby.

(i) Charbon à longue flamme, plus gras que les trois précédents ; laisse beaucoup de crasse. — Le charbon de Commentry est de même nature, mais laisse moins de crasse.

(j) Houille grasse à longue flamme ; laisse des crasses qui n'adhèrent pas aux grilles ; évidemment supérieur aux charbons secs anglais.

Nota. On voit que le charbon de Roche la Molière vaut le Cardiff, sous le rapport de l'eau évaporée ; et les charbons de Blanzy, Commentry et Bénezet, ceux de Newcastle et de Grimsby ; mais les mâchefers et les escarbilles sont plus abondants lorsqu'on brûle les charbons français. — A Brest, on compare le Commentry aux *meilleurs* charbons secs de Newcastle ; le Blanzy aux *bonnes* houilles de Newcastle et les charbons d'Aubin et de Decazeville aux charbons *inférieurs* de Newcastle.

2° *Expériences faites à Toulon.*

ORIGINE DES HOUILLES.	EAU vaporisée par kilog. de houille.	CENDRES et escarbilles.	MACHEFER.	Observations.
	kilog.	p. 100	p. 100	
Houilles grasses à courte flamme.				
Cardiff (mélange de plusieurs mines). . . .	9,95	8,58	0,12	(*a*)
Roche la Molière, couche du Saignat (Loire).	8,99 à 10,57	8,57 à 12,33	0,67 à 0,79	(*b*)
Agglomérés de l'usine Marsais à Givors. .	10,50	12,66	0,33	(*c*)
Grand-Combe, couche Abylon.	8,49	12.16	1,44	(*d*)
Houilles grasses maréchales.				
Quartier Gaillard (Loire), 3me couche, puits de la Loire.	9,25 9,18	11,33 11,18	0,18 0,26	(*e*)
Houilles à longue flamme, sèches ou peu grasses.				
Newcastle (mélange de plusieurs mines). .	7,85	7,27	0,005	(*f*)
Sunderland.	7,90	8,95	0,01	
Liverpool (Lancashire).	7,00	4,00	0,00	(*g*)
Glasgow (Ecosse).	7,00	4,00	0,60	(*h*)
Couche des Littes à Montrambert	9,08 8,55	11,08 13,33	0,40 0,66	(*i*)
Lignite du Rocherbleu.	7,29	9,38	0,00	(*j*)

(*a*) En opérant dans une chaudière nouvellement réparée et privée de toute incrustation, on a même vaporisé 11k.16 d'eau.

(*b*) Résultats extrêmes de divers essais. En opérant dans la chaudière fraîchement nettoyée, on a même vaporisé 11k,33 avec le pérat et 10k,80 avec le grelat. — Ainsi le Saignat serait même supérieur au Cardiff.

(*c*) Pouvoir calorifique fort élevé. Se ramolissent entre 60 et 100° et dégagent alors des essences qui attaquent les yeux des chauffeurs.

(*d*) Charbon très-friable, brûle difficilement.

(*e*) Brûle facilement, colle et forme croûte, ce qui exige des ringardages; équivaut aux bons charbons anglais.

(*f*) Charbon sec à longue flamme, dur et terne; s'enflamme facilement.

(*g*) Charbon sec, dur, terne, de qualité médiocre.

(*h*) Charbons secs qui ressemblent aux lignites.

(*i*) Houilles grasses à longue flamme, dures, inférieures aux charbons gras maréchales et à courte flamme, mais supérieures aux charbons secs anglais.

(*j*) Le lignite des Bouches-du-Rhône équivaut donc aux houilles de Glasgow et de Liverpool.

CHAPITRE V.

MINERAIS DE FER.

Production de l'Angleterre en minerais de fer.

D'après les documents du *Geological Survey*, le poids des minerais passés aux hauts-fourneaux anglais a varié, dans ces dernières années, de 8 à 10 millions de tonnes, donnant 3.500.000 à 3.650.000 tonnes de fonte. En 1854, d'après M. Trurane, on aurait même fondu 12.346.000 tonnes. Mais ce chiffre est évidemment exagéré et nullement en rapport avec la fonte produite.

Les chiffres suivants, publiés par le *Geological Survey*, nous paraissent plus exacts :

	tonnes.
En 1857.	9.573.281
En 1858.	8.040.959

Nous devons ajouter cependant que ce dernier chiffre semble un peu faible, lorsqu'on le compare au poids de la fonte, qui, pour cette même année, est estimé à 3.456.064 tonnes.

Il est vrai qu'aux 8.040.959 tonnes, il faut ajouter les minerais venant de l'étranger (de l'Espagne surtout), dont le poids est d'environ 500.000 tonnes.

De plus, il importe de remarquer que dans plusieurs districts les scories de forge retournent sans cesse intégralement au haut-fourneau, et qu'ainsi une partie notable du fer des minerais sert plus d'une fois dans la même année à la fabrication de la fonte.

L'industrie des fers s'est développée plus rapidement en Angleterre depuis vingt-cinq ans que celle des houilles.

Tandis que sa production en combustible minéral a

triplé, celle de la fonte, et, par suite, celle des minerais de fer s'est accrue dans le rapport de 1 à 5;

Savoir : de 700.000 tonnes de fonte en 1833, à 3.500.000 tonnes en 1858.

Sous ce rapport, la France n'a pas marché aussi vite :

	tonnes.
En 1833, notre production en fonte était de.	269.000
Et en 1858 de.	871.000

Mais nous verrons dans la deuxième partie que si l'on considère uniquement le travail à la houille, on trouve, pour la même période de vingt-cinq ans, un accroissement plus que décuple.

L'Angleterre exporte très-peu de minerais, et uniquement du fer oxydé, terreux riche, servant à la préparation de la fonte malléable.

La France en a reçu :

	tonnes.
En 1858.	1.341
Et en 1859.	1.420

Terrains qui renferment du minerai de fer.

Les minerais de fer fondus en Angleterre proviennent en majeure partie du terrain carbonifère et surtout des *coal-measures*.

Les 8.040.000 tonnes de l'année 1858 se répartissent de la manière suivante :

	tonnes.
Le terrain houiller a fourni en carbonates terreux.	5.040.000
Le millstone grit, en hydroxydes et hématites brunes	400.000
Le calcaire carbonifère, en hématites rouges et fers spathiques plus ou moins décomposés.	1.000.000
Les terrains plus modernes, parmi lesquels surtout le lias du Cleveland, en minerais divers	1.600.000
Total.	8.040.000

Ainsi 6.440.000 tonnes, ou les 0,80 de la masse totale, sont fournies par le terrain carbonifère, et plus

de 0,60 se composent de minerais houillers proprement dits. Les 0,20 restant proviennent surtout du lias; tandis que le terrain crétacé et plus particulièrement les terrains tertiaires sont relativement stériles.

En France, la plupart des minerais sont tertiaires.

Sous ce rapport, le contraste avec la France est grand. Chez nous, ce sont les terrains modernes qui sont les plus riches en fer : les dépôts tertiaires d'abord, les calcaires jurassiques en deuxième ligne; tandis que les terrains inférieurs sont presque tous pauvres.

En faisant, d'après le compte rendu des travaux des ingénieurs des mines, le relevé des diverses sortes de minerais, on trouve pour l'année 1849 ;

	tonnes.	
Sur un total de. .	1.766.400	de minerais bruts,
à très-peu près	1.400.000	de minerais tertiaires,
ou sur.	1.094.000	de minerais préparés,
environ. . . .	700.000	de minerais tertiaires lavés,

c'est-à-dire à très-peu près les 0,65.

Le fer carbonaté lithoïde anglais est, par suite, remplacé en France par le minerai hydroxydé en grains des terrains tertiaires; et tandis qu'en Angleterre presque tous les minerais proviennent de véritables travaux de mines, la plupart des nôtres sont exploités à ciel ouvert ou dans des minières d'une faible profondeur. De là, en notre faveur, comme nous verrons bientôt, une différence très-notable sous le rapport du prix de revient. L'avantage nous reste également lorsqu'on compare la teneur et la qualité des minerais.

En Angleterre, le rendement moyen des minerais crus dépasse rarement 35 pour 100; tandis qu'il ressort en France à 38 pour 100, après lavage.

Les minerais houillers grillés sont, à la vérité, plus réductibles et surtout plus fusibles que nos minerais

en grains, toujours si chargés en alumine; mais, sous le rapport de la pureté, ils ne soutiennent pas la comparaison. Les minerais houillers les plus purs et les oolites liasiques du Cleveland renferment tous au moins 2 à 3 millièmes de phosphore, et ne peuvent ainsi jamais produire des fers forts comparables à ceux que nous donnent les minerais de Comté, du Berry, du Périgord et de l'Ariége.

Classification des minerais.

D'après ce que nous avons dit ci-dessus, les minerais anglais sont de cinq sortes et se classent, d'après leur importance, dans l'ordre suivant :

Carbonates houillers,
Hématites rouges,
Minerai oolithique du lias,
Hématites brunes et fers spathiques,
Hydroxydes et minerais en roche du millstone grit.

Nous allons les passer en revue successivement.

I. Minerais houillers.

Les minerais houillers ne sont pas répandus indifféremment dans tous les districts carbonifères ni à tous les niveaux de la formation houillère. Nous avons vu déjà, dans le chapitre précédent, que les districts de Newcastle et du Lancashire sont très-pauvres sous ce rapport, et que, à part le *blackband*, le fer des houillères se rencontre surtout vers la base de la formation.

§ 1er. *Classification des minerais houillers.*

Le carbonate de fer du terrain houiller se divise en deux classes :

1° Le minerai lithoïde proprement dit, appelé, selon les districts : *argillaceous ore*, *clay-ironstone* ou simplement *ironstone*; et, par les auteurs du *Geological Survey* : *argillaceous carbonate*.

2° Le minerai schisto-bitumineux, connu en Angleterre sous le nom de *blackband*, à cause de sa nuance sombre et de sa contexture schisteuse, et appelé par Trurane *carbonaceous ore*, par suite de l'intime mélange du carbonate de fer avec la matière bitumineuse et houillère.

Le minerai lithoïde caractérise surtout la partie inférieure du coal-measures et pénètre, en Écosse, jusque dans le calcaire carbonifère.

Le blackband, par contre, est plutôt abondant vers le haut de la formation et ne se rencontre d'ailleurs, d'une façon un peu générale, que dans le bassin du Nord.

Le Sud-Staffordshire est, de tous les districts, proportionnellement à son étendue, le plus riche en minerais houillers; mais aussi déjà, à cause de ses nombreuses forges, le plus épuisé en fer comme en houille.

La branche Est du district central renferme de nombreuses veines vers le nord, aux environs de Bradford (Lowmoor et Bowling), et, dans la partie moyenne, autour de Leeds, Sheffield et Rotherham.

Enfin les grands bassins du pays de Galles et de l'Écosse contiennent encore, vu leur étendue, des masses de minerais fort considérables; néanmoins, partout les affleurements sont épuisés, les travaux s'étendent en profondeur et les prix de revient commencent à hausser. Cette tendance à la hausse, encore peu marquée pour la houille, est, par contre, très-sensible, comme nous le verrons, pour le minerai.

Minerai lithoïde.

Le minerai *lithoïde* est disposé, soit en veines plus ou moins continues, soit en rognons régulièrement alignés parallèlement aux schistes du terrain houiller. Rarement ces veines, ou lits de rognons, ont plus de

$0^m,15$ à $0^m,20$ de puissance, et seulement çà et là $0^m,40$ à $0^m,50$. Presque jamais elles ne sont assez voisines d'une couche de houille pour qu'il soit possible de les exploiter ensemble. Plus souvent deux veines sont suffisamment rapprochées pour être abattues en même temps, et pourtant, même dans ce cas, leur faible puissance et la dureté de la roche font presque toujours monter les frais d'extraction à plus de 12 francs la tonne.

Blackband.

Le *blackband* est un schiste bitumineux ferrifère, dont la véritable nature a été longtemps méconnue, grâce à sa nuance sombre et à sa faible pesanteur spécifique, dues, l'une et l'autre, à la proportion élevée de l'élément bitumineux. Il ressemble par sa forme et son aspect général au minerai schisteux de Decazeville; mais le blackband écossais est en général plus bitumineux, plus léger et beaucoup moins chargé de matières terreuses. Ce minerai, comme le carbonate lithoïde, forme au milieu des schistes houillers une série de bancs, dont l'épaisseur ordinaire est de $0^m,10$ à $0^m,20$ et et au maximum de $0^m,50$. Son prix de revient est par suite, à l'état cru, à peu près le même que celui du minerai lithoïde.

§ 2. *Composition des minerais houillers.*

Les minerais *lithoïdes* anglais se distinguent, en général, avantageusement des minerais similaires du continent par la rareté ordinaire des pyrites et la présence constante du manganèse; par contre tous, sans exception, même ceux réputés les meilleurs, renferment 0,003 à 0,005 d'acide phosphorique. C'est là leur côté faible. D'autre part, cependant, le manganèse qui ne manque jamais, rend ces minerais fusibles et faciles à traiter, et surtout favorise, au haut-fourneau, l'expulsion du soufre, et, dans l'affinage, celle du phosphore. C'est, par suite, un correctif puissant dont l'influence est bien évidente dans toutes les forges du Royaume-Uni.

Lorsqu'on parcourt les nombreuses analyses publiées par MM. Berthier, Scherrer, Trurane, etc., et surtout celles qui ont été faites au laboratoire de Londres, sous la direction du docteur Percy (voyez les mémoires du Survey), on constate que les minerais lithoïdes anglais renferment en général :

15 à 25 p. 100 d'argile plus ou moins sableuse;
1 à 1,5 p. 100 de protoxyde de manganèse } à l'état de
4 à 6 p. 100 de chaux et de magnésie } carbonates;
0,30 à 0,50 p. 100 d'acide phosphorique;

habituellement moins de :

0,20 p. 100 de pyrite de fer;

et presque toujours :

0,30 à 0,75 p. 100 de potasse;

à l'état de silicate multiple dans le résidu insoluble. Accidentellement on trouve, dans les fissures des rognons de minerai, des veinules de blende, de galène et de pyrite de cuivre.

La teneur en fer des minerais lithoïdes dépasse rarement, à l'état cru, 35 pour 100, et descend quelquefois jusqu'à 25 pour 100. En moyenne on peut admettre 30 à 33 pour 100.

Comme exemple de composition moyenne, on peut citer le minerai suivant (analysé par M. le docteur Percy), provenant de Bedworth, près de Coventry, et cité par M. S. H. Blackwell dans sa *Lecture sur l'industrie du fer en Angleterre* :

Carbonate de fer	79,19
Carbonate de manganèse	1,45
Carbonate de chaux	5,85
Carbonate de magnésie	6,30
Alumine	0,50
Silice	4,85
Acide phosphorique	0,71
Eau, matière bitumineuse et perte	1,15
	100,00

La proportion d'acide phosphorique y est cependant un peu forte et celle de l'argile faible.

Si toutes les analyses publiées n'accusent pas d'ailleurs la présence du phosphore et de la potasse, c'est qu'on n'a pas habituellement recherché ces éléments.

La potasse a été reconnue par les docteurs Percy et Bunsen (1), et sa présence résulte aussi de ce fait, depuis longtemps signalé par M. Berthier, que la matière farineuse blanche qui se dépose si souvent, dans les usines anglaises, sur la paroi extérieure de la tympe, se compose surtout de sels de potasse (2).

Quant au phosphore, s'il n'est pas mentionné dans la plupart des analyses que cite M. Trurane, il n'en existe pas moins d'une façon certaine dans les minerais, puisque toutes les fontes et scories de finerie anglaises, provenant des carbonates houillers, ont fourni à l'analyse des proportions notables de phosphore (voir Berthier, Scherrer, etc.).

Influence des minerais sur la qualité des fers.

Le minerai houiller fournit, dans les nombreux districts de forges de l'Angleterre, et même dans des usines peu distantes les unes des autres, des qualités de fonte et de fer très-variées. On est donc tout naturellement amené à se demander si cette supériorité

(1) Trurane, p. 7, et *Geological Survey*.

(2) *Voyages mét.*, t. I, p. 343, et *Annales de physique et de chimie*, t. XXXIII, 1re série, p. 217.

bien reconnue de certaines provenances (Pontypool, Blaenavon, Lowmoor, Bowling, etc.) est due à la qualité spéciale des minerais traités, ou bien à d'autres causes.

Il est bien constant que les minerais de certaines veines sont plus recherchés et mieux payés par les fondeurs que d'autres, mais en général ce prix plus élevé correspond surtout à une teneur plus grande et non à une différence de nature ou de qualité.

Les auteurs des mémoires du *Geological Survey* déclarent positivement que l'analyse ne fait découvrir aucune différence appréciable entre les minerais fondus à Lowmoor, Bowling, Bierley, etc., et ceux que l'on traite dans les autres usines du même district, donnant des fers et des fontes très-ordinaires. Ils attribuent, avec les directeurs mêmes de ces usines, la supériorité des produits principalement au mode de fabrication et accessoirement à l'emploi d'une houille très-pure, telle que celle du *better bed* à Lowmoor (1). On peut remarquer, en effet, que dans toutes les usines où l'on produit des fontes et des fers supérieurs, on proscrit, au haut-fourneau, l'emploi de la houille crue, de l'air chaud et des scories de forge, et que, dans les forges, on s'applique surtout à soigner le puddlage et à multiplier les corroyages au marteau.

Le *blackband* brut diffère du minerai lithoïde principalement par la présence de l'élément bitumineux, dont la proportion s'élève parfois jusqu'à 20 pour 100, mais oscille plus souvent autour de 10 pour 100. Il contient aussi, en général, une proportion moindre d'argile sableuse (10 à 15 pour 100, au lieu de 15 à 25), tandis que sous le rapport des carbonates de chaux,

(1) *Geological Survey*. The iron ores of Great Britain, part. I, p. 51.

de magnésie et de manganèse, l'identité est à peu près complète.

Le blackband écossais perd au grillage jusqu'à 40 à 50 p. 100 de matières volatiles, et double ainsi presque de richesse.

Il en est qui rendent, en effet, après calcination, jusqu'à 55 et même 60 pour 100 de fonte. Malgré cette grande richesse, le blackband grillé est, à cause de sa porosité, très-facile à réduire, et en même temps, par suite de sa faible teneur en argile, encore plus fusible que le carbonate houiller ordinaire. Cette circonstance explique le traitement si facile des minerais écossais dans des fourneaux sans étalages et à creusets larges.

Sous le rapport du phosphore, les blackband ne diffèrent guère des minerais lithoïdes (1) ; mais la proportion de pyrites paraît en général plus forte, et c'est sans doute à cette cause qu'il faut attribuer l'infériorité des fontes obtenues dans certaines usines du pays de Galles, avec des minerais de la classe des blackbands (2). Néanmoins, comme nous le verrons, tous les blackbands ne sont pas également pyriteux.

§ 3. *Redevances.*

Les mines de fer carbonaté sont en général affermées et exploitées en même temps et par les mêmes personnes que les mines de houille.

Le plus souvent la redevance est fixée à tant par tonne du minerai extrait. Cependant, dans certains

(1) Cependant M. S. H. Blackwell affirme que les fers provenant des blackbands sont en général cassants à froid, et il attribue au phosphore la grande fluidité des fontes d'Écosse. (*Lecture on iron-making resources.*)

(2) Trurane, p. 9.

districts du centre de l'Angleterre, on suit encore souvent, pour le minerai de fer comme pour la houille, un autre mode qui était autrefois assez général. On estime approximativement la masse de houille et de minerai de fer qui peut se trouver sous le terrain à amodier. Puis, d'après ce chiffre et un maximum présumé d'extraction annuelle, on fixe la redevance uniforme à payer chaque année pendant toute la durée du bail de vingt, trente ou quarante ans, et cela quelle que soit la durée réelle de l'exploitation et la quantité extraite par année.

La redevance ainsi fixée, ou celle que l'on paye directement par tonne, est, dans la plupart des districts de forges, à part le pays de Galles, plus élevée que celle de la houille, et augmente en général à chaque renouvellement des baux. Elle varie d'ailleurs entre des limites fort larges d'un district à un autre.

Dans le pays de Galles, qui est aisément pourvu par mer d'hématites riches, on ne paye encore, par tonne, que 4 à 6 pence.

Dans le Sud-Staffordshire, en moyenne, 1 sh. 6 p. à 2 shillings, et exceptionnellement 2 sh. 6 p. à 3 shillings.

En Écosse, depuis 2 sh. 6 p. à 4 shillings par tonne de minerai grillé, et même, dans certains cas, jusqu'à 5 et 6 shillings.

§ 4. *Mode d'exploitation.*

Le mode d'exploitation des minerais houillers n'offre rien de spécial. A l'origine, dans la plupart des districts, on a exploité à ciel ouvert le long des affleurements. Ainsi en particulier sur la lisière nord du bassin Gallois, en Écosse et dans le Yorkshire. Plus tard, par une série de petits puits, *bell-pits*, semblables à ceux de nos minières, distants de quelques mètres les uns des

autres. Aujourd'hui, ce sont presque partout de grands puits organisés comme pour la houille, et bien souvent les mêmes fosses servent alternativement pour la houille et le minerai. Pourtant même alors, comme nous l'avons déjà dit, les chantiers souterrains et les voies de roulage secondaires sont tout à fait distincts; en sorte qu'au fond il ne résulte de la coexistence de ces deux matières dans le même terrain qu'une bien faible économie pour ce qui regarde leur prix de revient.

Dans ces vastes mines de fer, on exploite en général par très-grandes tailles, en remblayant à mesure en arrière; mais les roches stériles sont presque toujours surabondantes et encombrent les puits d'énormes haldes.

Dans la plupart des districts, l'acre de terrain donne en moyenne par veine 1.500 à 2.000 tonnes de minerai, soit 4.000 à 5.000 tonnes par hectare. Ce chiffre correspond à une puissance utile de $0^m,15$ à $0^m,20$.

§ 5. *Prix de revient du minerai de fer des houillères.*

Le prix de revient des minerais houillers est, par le fait de cette faible puissance, partout fort élevé. Réservant les détails pour la description des districts, disons seulement que le prix de revient moyen de la tonne de 1.000 kil., est, *sur les puits*, non compris les intérêts des sommes engagées :

Dans le pays de Galles, de.	10 à 12 fr.
Dans le Staffordshire, de.	11 à 13
En Écosse (intérêt compris et par tonne de minerai grillé) de.	18 à 19

et que, rendus aux hauts fourneaux, ces minerais coûtent, selon la position des usines, 1 à 2 fr. en sus de ces prix.

II. Hématites rouges du Lancashire et du Cumberland.

Après les carbonates houillers, les hématites rouges (*red-ores*) du nord de l'Angleterre sont, à cause de leur richesse et de leur pureté, les minerais les plus recherchés de l'Angleterre. On les exploite principalement auprès d'Ulverstone (in Furness), dans le Lancashire, et aux environs du port de Withehaven, dans le Cumberland. Ils appartiennent, dans les deux districts, au calcaire carbonifère, et le même terrain en renferme également, quoique en masses moins importantes, dans le Derbyshire et le district de la forêt de Dean, à l'est du pays de Galles.

§ 1^er^. *Manière d'être de l'hématite rouge.*

Le minerai se présente, dans le calcaire carbonifère, sous forme de puissants amas qui s'étendent tantôt parallèlement, tantôt transversalement, aux strates du terrain, et repose, en général, plutôt sur le schiste que sur le calcaire proprement dit.

Dans le district de Withehaven, la puissance des amas varie de 15 à 30 pieds anglais et même, comme à Big-Rigg Moor, jusqu'à 60 pieds (18 mètres) (1). Entre le schiste de la base et le minerai, il y a parfois un faible lit de poudingue, à galets de quartz blanc, de 3 à 8 pouces d'épaisseur. Mais si, d'après cet indice et quelques autres caractères, le dépôt semble, sur certains points, contemporain du terrain calcaire, il a bien réellement ailleurs, et même le plus souvent, le cachet certain de formation postérieure.

Dans le Lancashire, le promontoire de Low-Furness, auprès d'Ulverstone, est couvert de travaux sur une étendue de 6 milles sur 4, et là le minerai a été positivement déposé après la consolidation du terrain calcaire. Il remplit en général d'énormes poches, plus ou moins verticales, au milieu du schiste et du cal-

(1) Mémoires du *Geological Survey* sur les minerais du nord de l'Angleterre, part. I, p. 21.

caire ; poches dont on n'a pas, en général, trouvé le fond malgré des travaux de 60 à 70 mètres de hauteur verticale. Dans ce district, le minerai vient, d'ailleurs, jusqu'à la surface du sol, ou n'est que faiblement couvert par les sables et graviers de l'époque diluvienne (*drift*).

Ces dépôts rappellent, sauf l'âge du calcaire et l'apparence du minerai, la manière d'être de nos hydroxydes en grains, qui remplissent aussi, sous un manteau de terrain alluvial ou tertiaire, les poches, puits et fentes des calcaires jurassiques et crétacés.

Évidemment, dans l'un et l'autre cas, les minerais proviennent de sources ferrugineuses qui ont peu à peu élargi, par dissolution, les failles ou fentes des terrains calcaires.

§ 2. *Composition de l'hématite rouge.*

Le *red-ore* anglais peut être comparé, quant à sa nature, au minerai oxydé rouge de Privas et de Lavoulte. Comme lui, il est tantôt compacte, dur et siliceux (comme *l'agathisé* de Privas), tantôt plus tendre et plus argileux et entremêlé de quelques traces de carbonate calcaire. Parfois il est radié et mamelonné comme les fers oligistes de Framont ; enfin, sur certains points, entièrement pulvérulent et très-onctueux au toucher. Ce dernier est vendu sous le nom de *puddling-ore*, par opposition au *blast-ore* (mine pour fusion), parce qu'il est employé de préférence pour la confection de la sole et du cordon des fours de puddlage. C'est aussi ce même oxyde pulvérent et riche que l'on vend aux fabricants de fonte malléable.

Dans tous les cas, la gangue ordinaire du *red-ore* se compose de quartz plus ou moins mêlé d'argile siliceuse ; on y trouve au maximum 4 à 5 p. 100 de carbonates de chaux et de magnésie : ce minerai ne mérite donc pas la qualification de *calcareous ore* que lui donne Trurane.

Il faut réserver ce nom au seul minerai de la forêt de Deali, qui, en effet, renferme 30 à 40 p. 100 de carbonate de chaux plus ou moins marneux.

D'après les analyses publiées par le *Geological Survey*, les hématites du nord de l'Angleterre sont, en général, des minerais très-purs, contenant à peine des traces de phosphore et au plus 0.001 de soufre. Quelques échantillons accusent cependant de très-faibles traces de plomb et d'arsenic. Mais, en somme, ils renferment beaucoup moins de substances nuisibles que les carbonates houillers, et leur teneur est en outre beaucoup plus élevée, car ils rendent, en moyenne, 50 p. 100 de fonte. Par contre ils sont bien moins fusibles et réductibles, et renferment rarement au delà de 1/4 p. 100 d'oxyde de manganèse. Ces minerais conviennent donc plutôt pour les fontes de forge que pour le moulage, et c'est, en effet, spécialement avec les fontes provenant de ces mines (les fontes du Cumberland) que M. Bessemer est parvenu à obtenir de l'acier fondu. Les variétés peu siliceuses donnent, dans tous les cas, des fontes plus tenaces que le minerai du Cleveland.

§ 3. *Emploi des red-ores.*

Ces minerais alimentaient autrefois les hauts-fourneaux au charbon végétal du nord de l'Angleterre, et alimentent encore les deux ou trois usines au bois qui n'ont pas disparu du Royaume-Uni.

Outre ces forges au bois, le Cumberland et le Lancashire renferment plusieurs usines à la houille, où l'on fond de même exclusivement l'hématite rouge de ces contrées ; on peut citer, parmi les principales, les forges de Cleator-Moor et de Workington, pourvues

l'une et l'autre de quatre hauts-fourneaux ; mais la majeure partie du *red-ore* est amené aux autres districts de forge du Royaume-Uni, et principalement au pays de Galles, pour subvenir à l'insuffisance des minerais houillers.

§ 4. *Quantités extraites et valeur des red-ores.*

En 1858, les quantités extraites furent :

	tonnes.
Dans le Lancashire, de.	438.546 (1)
Dans le Cumberland, de.	331.544
Dans la forêt de Dean (hématite calcaire). .	107.652
Total.	877.742

dont environ 600.000 tonnes ont été expédiées dans le pays de Galles, et 200.000 tonnes dans les districts du Sud-Staffordshire et de Newcastle (Durham et Middlesboro).

Le minerai d'Ulverstone (Lancashire) se vend, au port de Barrow, la tonne de 1.015 kil. aux prix de 11 à 12 sh. les qualités moyennes, et 13 sh. 6 p. les parties les plus riches, ou, sur la mine même, en moyenne, 10 sh. 6 p.

Celui du Cumberland, au port de Whitehaven, 13 sh. 6 p. à 14 sh., ou 10 sh. 9 p. sur la mine.

Ainsi, au port d'embarquement, les 1.000 kil. se vendent, à 50 p. 100 de teneur, 14 à 15 fr., et les plus riches jusqu'à 17f,25.

La redevance payée au propriétaire du sol est généralement de 1 sh. 3 p. par tonne de 21 quintaux ; soit 1f,45 par tonne de 1.000 kil., ou environ le dixième du prix du minerai.

Terminons ces détails sur les *red-ores* par quelques analyses extraites du *Geological Survey*.

(1) Pour l'année 1857, la production du Lancashire est évaluée à 592.390 tonnes.

ÉLÉMENTS composant le minerai.	MINERAI DUR de Cleator-Moor (Whitehaven).	MINERAI TENDRE de Cleator-Moor (Whitehaven).	MINERAI de Gillbrow (Ulverstone).	MINERAI de la forêt de Dean d'après Trurane.
Peroxyde de fer	0,9516	0,9036	0,8650	Peroxyde de fer. . . . 0,54 à 0,670
Protoxyde de manganèse	0,0024	0,0010	0,0021	Carbonate de chaux. . 0,35 à 0,243
Chaux	0,0007	0,0071	0,0277	Argile. . . . . 0,07 à 0,065
Magnésie	»	0,0006	0,0146	Eau. . . . . 0,04 à 0,022
Alumine	»	0,0037	»	1,00 à 1,000
Résidu insoluble	0,0568	0,0854	0,0655	
Acide phosphorique	tr.	tr.	tr.	Le phosphore et le soufre n'ont pas été dosés.
Acide sulfurique	tr.	tr.	0,0011	
Pyrites de fer	»	0,0006	»	
Acide carbonique	»	»	0,0296	
	1,0115	1,0020	1,0056	
Fer métallique	0,668	0,663	0,605	
	Le résidu insoluble est exclusivement quartzeux.	Le résidu Insoluble contient : Quartz et silice. . 0,0705 Alumine . . . . . 0,0106 Protoxyde de fer. 0,0019 — 0,0830	Le résidu insoluble contient : Quartz et silice. . 0,0618 Alumine. . . . . 0,0038 — 0,0656	

Ces trois analyses représentent des échantillons choisis, car la teneur ne dépasse pas, en général, 50 à 55 p. 100, tandis que la proportion de quartz atteint 15 et souvent 25 p. 100.

III. Minerais oolitiques du Cleveland.

Un troisième minerai, fort important pour les usines anglaises, à cause de son bas prix, est exploité au sud du bassin houiller de Newcastle, dans les collines du Cleveland (North-Yorkshire), qui bordent la mer, à partir de Stockton et Middlesboro jusqu'à Whitby. Il n'est connu et exploité que depuis dix à douze ans, époque de laquelle datent le développement et la prospérité des usines à fer du bassin de Newcastle, si pauvre, comme on l'a vu, en carbonates houillers.

§ 1er. *Manière d'être du minerai oolithique.*

Le minerai du Cleveland est en couche dans les marnes du lias moyen, il est caractérisé par le *pecten æquivalvis* et les bélemnites ordinaires du lias moyen. Au-dessus viennent des schistes sableux et des grès, que l'on exploite comme pierres à bâtir ; ce sont les bancs, appelés *marlstone series*, qui s'enfoncent eux-mêmes sous les marnes supraliasiques proprement dites avec schistes alunifères. Dans les *marlstones*, à 30 mètres au-dessus de la couche proprement dite, on rencontre encore un lit de rognons carbonatés riches, mais peu épais.

La couche elle-même a 12 à 14 pieds anglais de puissance (4 mètres). C'est un minerai finement oolitique, comme nos minerais liasiques de Villebois, la Verpillière, Mondalazac, etc. ; mais au lieu de fer oxydé rouge, plus au moins hydraté, c'est un mélange de carbonate et silicate, gris verdâtre, analogue au

minerai bleu de Hayanges, dans la Moselle, c'est-à-dire, une association de carbonate lithoïde et de *chamoisite*, dont certaines parties sont compactes, à cassure unie ou inégale, et le reste à très-petits grains, fortement cimentés par la masse ferrugineuse plus compacte. Vers l'extrémité ouest du gîte, les grains sont plus ou moins magnétiques, ainsi que cela se voit aussi en France et mieux encore dans les Alpes.

La couche est surtout puissante, très-régulière et exploitée fort activement sur le versant nord des collines du Cleveland, auprès d'Eston, entre Middlesboro et Redcar, vers l'embouchure de la Tees. Là, une seule mine, celle de MM. Bolkow et Vaughan, fournit annuellement jusqu'à 700.000 tonnes de minerai. On l'exploite, par simples galeries partant du jour, selon les meilleurs principes de l'art.

D'autres mines sont ouvertes sur le revers sud des mêmes coteaux, dans la vallée de Guisborough, et quelques autres sur les prolongements est et ouest du gîte principal.

L'ensemble des mines du Cleveland a fourni, en 1858, la masse énorme de 1.367.395 tonnes de minerai, tenant en moyenne, à l'état cru, 28 à 30 p. 100 de fer, et après grillage, 40 p. 100.

§ 2. *Composition du minerai oolithique.*

Ce minerai, quoique argilo-calcaire, est cependant moins fusible et moins réductible que les minerais houillers.

Il renferme plus d'alumine et surtout moins de manganèse. De plus, comme tous les minerais liasiques, il est fortement phosphoreux, et renferme en outre de la pyrite de fer. C'est par suite un minerai bien inférieur

aux deux précédents. Il donne, en effet, des fontes et des fers de qualité secondaire, suffisamment bons pour des coussinets et des tuyaux de conduite, des rails et des tôles, mais impropres aux cercles, bandages, fers de câbles ou de machines, tôles fines, etc.

Voici sa composition d'après une analyse faite au laboratoire de l'École de mines de Londres :

Protoxyde de fer	0,3992
Peroxyde de fer	0,0360
Protoxyde de manganèse	0,0095
Chaux	0,0744
Magnésie	0,0382
Potasse	0,0027
Alumine	0,0786
Acide carbonique	0,2285
Acide phosphorique	0,0186
Acide sulfurique	traces.
Silice soluble dans l'acide chlorhydrique	0,0712
Pyrite de fer	0,0011
Eau de combinaison	0,0297
Matières organiques	traces.
Résidu insoluble	0,0164
	1,0041
Teneur en fer métallique	0,336

Le résidu insoluble, en grande partie attaquable par une solution de potasse caustique, se compose de :

Silice	0,0150
Alumine	0,0010
Acide titanique	0,0003
Chaux	traces.
	0,0163

Des minerais analogues à ceux du Cleveland, et des hydroxydes plus modernes des terrains secondaires, sont connus dans les comtés de Northampton, Buckingham, Oxford, etc., et en général, comme en France,

sur toute la ligne des dépôts jurassiques et des grès verts crétacés qui traversent l'Angleterre du N.-N.-E. au S.-S.-O. Mais tous ces minerais, comme ceux du Cleveland, sont de qualité inférieure, et, soit par ce motif, soit à cause de leur plus grand éloignement des districts houillers, peu exploités jusqu'à ce jour; cependant, d'après M. R. Hunt, les minerais jurassiques et crétacés, pris en dehors du Cleveland, forment déjà un total de 150 à 160.000 tonnes.

§ 3. *Prix de revient et prix de vente.*

Le minerai de Cleveland ne coûtait, il y a dix ans, que 2 shillings à 2 sh. 6 p., alors que les travaux d'exploitation étaient, pour la plupart, à ciel ouvert le long des affleurements.

Aujourd'hui encore on le vend au prix de 2 sh. 10 p. sur le carreau des mines de Guisboro, situées à 12 ou 15 milles des hauts-fourneaux. Mais à la mine plus ancienne et beaucoup plus importante d'Eston, distante de 2 à 3 milles seulement des principales forges, il revient aujourd'hui aux extracteurs à 3 shillings ou 3 sh. 6 p., et se vend aux maîtres de forges, non propriétaires de mines, 4 sh. 6 p. la tonne de 1.015 kil. chargé en wagons.

Rendu aux hauts-fourneaux et *grillé*, on le cote en général à 6 shillings ou 6 sh. 6 p. par tonne anglaise, ou 7f,50 à 8 francs par 1000 kil.

D'après cela, par tonne de fonte, le minerai coûte 18 à 20 francs, ou au moins 15 francs lorsqu'on ne lui attribue aucun bénéfice.

C'est là le prix le plus bas auquel les minerais de fer puissent être livrés aux maîtres de forges anglais, abstraction faite des scories de forges, et cette limite correspond aux fers les plus communs. On voit déjà,

par ces chiffres, que certaines usines françaises sont mieux partagées, sous le rapport des minerais, que les usines anglaises les plus favorisées.

La redevance payée au propriétaire du sol est relativement faible lorsqu'on la compare à celle des autres districts, mais paraît forte lorsqu'on la rapproche du prix peu élevé du minerai même. Elle est, en effet, de 6 à 8 pence, soit 15 à 20 p. 100 du prix de revient.

IV. Hématites brunes et fers spathiques.

Les fers spathiques plus ou moins décomposés sont fort recherchés en Angleterre. Ils sont plus fusibles et aussi réductibles que les minerais houillers, et aussi purs, sous le rapport du phosphore, que les hématites rouges.

Malheureusement, la proportion de ces minerais est faible. La masse annuellement exploitée ne dépasse pas 100.000 tonnes. On les rencontre surtout, au sud-ouest de l'Angleterre, dans la presqu'île du Cornwall (comtés du Cornwall, du Devon et du Sommerset). et au nord, dans les comtés du Cumberland et du Northumberland. Le pays de Galles en fournit aussi quelque peu.

Le fer spathique se trouve en filons dans le calcaire carbonifère ou dans des roches de date plus ancienne. Beaucoup d'hématites brunes sont des mines douces provenant de l'altération du carbonate spathique.

Les hématites brunes et les fers spathiques de la presqu'île du Cornwall sont fondus dans le pays de Galles ; ceux du nord de l'Angleterre (environs de Stanhope, Weardale, Allenhead et Alston-Moor), principalement dans les usines de la compagnie de Weardale (hauts-fourneaux de Towlaw) du comté de Durham.

Prix des hématites brunes.

Le prix de ces minerais est élevé. Le fer spathique du Sommersetshire, qu'exploite la compagnie d'Ebbw-

Vale, dans la presqu'île du Cornwall, coûte, rendu à Newport, dans le pays de Galles, 20 shillings la tonne, et aux usines 22 sh. 6 p. Celui de Weardale 10 shillings sur la mine, et la mine douce ou hématite brune du même lieu, 7 shillings; aux hauts-fourneaux les prix sont respectivement de 12 à 13 et de 9 à 10 shillings.

La redevance payée au propriétaire du sol (le prince-évêque de Durham), pour les minerais de Weardale, dépasse 1 shilling par tonne.

Voici, d'après les analyses du docteur Percy, la composition des deux minerais de Weardale :

Composition des hématites brunes et des fers spathiques.

	FER SPATHIQUE proprement dit.	MINE DOUCE ou fer spathique décomposé.
Peroxyde de fer	»	0,4950
Protoxyde de fer	0,4947	0,1077
Protoxyde de manganèse	0,0242	0,0306
Chaux	0,0347	0,0568
Magnésie	0,0315	0,0120
Acide carbonique	0,3771	0,1449
Alumine	traces	0,0043
Acide phosphorique	traces	0,0001
Silice soluble	0,0120	0,0029
Pyrites de fer	0,0008	0,0003
Résidu insoluble	0,0377	0,0690
Eau	»	0,0810
	1,0127	1,0080
Teneur en fer métallique	0,3856	0,4302

Le résidu insoluble du fer spathique proprement dit est presque exclusivement formé de quartz. Celui de la mine douce se compose de :

Silice et quartz	0,0635
Alumine	0,0041
Peroxyde de fer	0,0007
Chaux	0,0004
Magnésie	0,0001
Potasse	0,0005
	0,0690

V. Hydroxydes ou minerais en roche du millstone grit.

A Froghall, dans le Nord-Staffordshire, on exploite, dans le millstone-grit, une couche d'hydroxyde de fer en plaquettes. Ce minerai appartient à la classe des minerais houillers, et sur certains points on le voit passer, en effet, au carbonate lithoïde ordinaire et même au blackband. C'est un minerai riche, rendant 45 p. 100 en moyenne. Certaines parties choisies servent même, dans les forges du Staffordshire, en place du *red-ore*, à faire les soles des fours de puddlage. Mais le minerai ordinaire n'est guère plus pur que le carbonate des houillères. La gangue est argilo-sableuse, et l'acide phosphorique y est toujours en proportion plus ou moins forte, comme dans tous les carbonates houillers.

Le minerai commun coûte 8 sh. sur la mine, et 15 sh. rendu aux usines du Sud-Staffordshire ; soit 18f,50 les 1.000 kil. Les parties riches, pour fours de puddlage, 24 fr. La quantité, annuellement extraite, monte à 350.000 tonnes.

VI. Prix comparé des minerais de fer anglais et français.

Les détails que nous venons de donner sur chacune des classes de minerais fondus en Angleterre prouvent, à n'en pas douter, qu'il sont tous relativement chers, même ceux qui ne supportent aucun transport, tels que la plupart des carbonates houillers. On voit que, sous ce rapport, le Royaume-Uni n'est pas, à beaucoup près, aussi bien partagé qu'on se le figure généralement. Lorsqu'on compare, à ce point de vue, la France et l'Angleterre, on reconnaît, avec M. Émile Martin de Fourchambault, que nous sommes plus riches en minerais de fer que les Anglais (1), et que la

(1) Enquête, t. I, p. 305.

plupart de nos grandes usines payent *moins*, par tonne de fonte pour les minerais, que la moyenne des forges anglaises.

Il suit également de ce qui précède que les redevances payées aux propriétaires du sol sont presque toujours fort élevées et peuvent être comparées aux *foltages* dont sont grevés nos minerais en grains (dits d'*alluvion*).

Prix et redevances des minerais anglais.

Pour mieux faire ressortir, sous ce rapport, les conditions économiques des deux contrées, résumons dans le tableau ci-joint les prix des minerais et les redevances payées aux propriétaires du sol, dans les principaux districts du Royaume-Uni :

NATURE ET ORIGINE du minerai	PRIX moyen des 1.000 kil. de minerai sur les mines.	PRIX des 1.000 kil. de minerai dans les usines les plus rapprochées.	VALEUR du minerai par 1.000 kil. de fonte lorsqu'on ne se sert pas de scories de forge.	REDEVANCE payée au propriétaire du sol par 1000 kil. de minerai.
	francs.	francs.	francs.	francs.
Minerai houiller brut du Pays de Galles rendant 30 p. 100.	10,00 à 12,00	11,00 à 13,50	38,00 à 45,00	0,50
Minerai houiller brut du Staffordshire à 35 p. 100	11,00 à 13,00	12,00 à 15,00	36,00 à 45,00	1,75 à 2,00
Minerai houiller grillé d'Ecosse, à 58 p. 100	18,00 à 19,00	20,00 à 21,00	35,00 à 36,50	3,75
Minerai cru du Cleveland rendant 28 à 30 p. 100	3,50 à 4,00	5,00 à 6,00	17,50 à 20,00	0,60 à 0,80
Hématite rouge du Cumberland et du Lancashire, à 50 p. 100.	12,50 à 13,50	Aux usines du Pays de Galles ou du Straffordshire : 22,50 à 25,00	45,00 à 50,00	1,45 à 1,50

Nous devons ajouter que, d'après la statistique de M. R. Hunt, les prix des minerais seraient, en général, un peu moins élevés, du moins ceux du terrain houiller. Mais nous croyons qu'il y a positivement erreur dans les chiffres officiels, ou que les prix mentionnés ne

comprennent pas la redevance payée au propriétaire du sol.

Ainsi, lorsqu'on calcule le prix de la tonne, d'après le relevé général des diverses sortes de minerais, on arrive, pour l'année 1858, aux résultats suivants (1) :

	Prix de la tonne anglaise de 1.015 kil. sur le carreau des mines.
Minerai houiller du Yorkshire	5 sh.
Minerai houiller du pays de Galles	7
Minerai houiller du Sud-Staffordshire	7
Minerai houiller du Nord-Staffordshire (de Froghall)	8 sh.
Minerai cru d'Écosse	6sh,6p (2)
Minerai du Cleveland	5 sh.
Minerai du Cumberland	10sh,9p
Minerai du Lancashire	10sh,6p
Moyenne de tous les minerais extraits en 1858.	6sh,5p

Nous sommes d'accord pour ce qui concerne les minerais du Cleveland, du Cumberland et du Lancashire, mais nous avons trouvé partout (et cela sans aucune exception) les minerais houillers plus chers que ne l'indique M. R. Hunt.

La différence est de 2 sh. pour l'Angleterre proprement dite et d'au moins 2 à 3 sh. pour l'Écosse. Or comme, dans plusieurs forges, on nous a permis de consulter les journaux et grands-livres de l'usine, nous croyons devoir maintenir nos chiffres malgré leur désaccord avec les publications officielles. Observons d'ailleurs que Trurane (p. 169) cite pour Dowlais (pays de Galles) le prix de revient du minerai à 8 sh., en juillet 1843, en ajoutant expressément que ce fut une période de malaise où le prix a été plus bas qu'avant et après,

(1) *Mineral statistics for* 1858, by R. Hunt, p. 70.

(2) Ce chiffre est surtout fort bas et ne cadre nullement avec le prix de 20 sh. que donne M. Hunt lui-même dans un précédent volume pour le minerai grillé (année 1855).

pendant de longues années, assertion qui s'accorde, en effet, avec le tableau général du cours des fers que l'on trouvera dans la suite de ce travail.

Si donc le prix de revient a été de 8 sh. en 1843, il est bien certainement d'au moins 9 sh. actuellement.

Comparons maintenant les prix anglais aux prix des minerais français.

Prix des minerais français.

Le compte rendu des travaux des ingénieurs des mines, pour l'année 1849, évalue le prix moyen de nos minerais sur les mines, lavés et préparés, à 6f,28 les 1.000 kil., et 8f,88 rendus aux hauts-fourneaux (1).

Le même calcul n'a pas été fait pour les autres années. On indique simplement le prix des minerais *bruts* sur le carreau des mines. Mais comme ce dernier a varié peu depuis 1849, celui des minerais lavés a dû rester aussi sensiblement constant.

On trouve pour les minerais bruts les chiffres suivants :

	fr.
En 1849	3,45
En 1850	3,56
En 1851	3,58
En 1852	3,79

Depuis lors aussi, les prix n'ont guère changé.

Pour l'année 1858, le résumé des travaux statistiques donne 3f,60, savoir :

14.050.800 francs pour 3.903.000 tonnes de minerai.

Or comme cette même année la production de la fonte fut de 871.000 tonnes, cela suppose, à 38 p. 100 de rendement, un poids de minerai propre à la fusion d'environ 2.300.000 tonnes; ce qui porte son prix, abstraction faite du lavage, à 6f,10 par tonne.

(1) *Résumé des travaux statistiques de l'industrie minérale pour les années* 1847 *à* 1852, p. 39 et 11 de l'introduction.

A cela, il faut ajouter les frais de lavage, qui sont en moyenne de 1f,50 par tonne; mais comme ces frais ne s'appliquent qu'aux minerais en grains, dont la proportion est d'environ 0,65, ils se réduisent en réalité à $\frac{100}{65} \times 1^f,50 = 0^f,97$ par tonne pour l'ensemble de tous les minerais.

Nous arrivons donc au chiffre de 7f,07 pour le prix moyen réel des minerais, propres à la fusion, supposés sur le carreau de la mine en 1858.

Les frais moyens de transport des mines aux usines étaient de 2f,60 en 1849; ils n'ont pas dû varier beaucoup depuis cette époque; car si, d'une part, les frais ont baissé par kilomètre, les parcours se sont, en général, plus ou moins allongés. On aurait donc, en réalité, pour le prix moyen du minerai aux usines 9f,67, ou, d'une manière générale, 9f,50 à 10 fr. (1); ce qui fait par tonne de fonte une dépense de 25 fr. à 30 fr. C'est bien là, en effet, la situation moyenne de la plupart de nos grands établissements, tels que le Creusot, Bessèges, Alais, Aubin, les forges de la Champagne, etc.

Si quelques autres sont dans des conditions moins favorables, nous avons aussi les usines de l'Ardèche et de la Moselle, dont la dépense en minerai est au-dessous de 25 fr.

Dans l'enquête ouverte au sujet du traité de commerce avec l'Angleterre, M. de Wendel déclare que le minerai de Hayanges ne lui coûte que 3f,50 (p. 68). M. Voruz, de Nantes, qu'au haut fourneau de la Jahotière le minerai du pays revient à 4 fr. (p. 368).

(1) Comme pour les houilles, il importe de remarquer que ces prix comprennent aussi en réalité bien souvent des intérêts de capitaux et même le bénéfice des exploitants.

M. Baudry, que le minerai entre dans le prix de la fonte au haut fourneau de Tréveray (Meuse), pour 23f,55 (p. 103). M. Peltereau de Villeneuve, que, dans les forges de la Champagne, la dépense moyenne est de 25 fr. (p. 130). Enfin, M. Pinart, qu'elle est de 30 fr. dans son usine de Marquise (p. 301). A ces déclarations officielles nous pourrions ajouter beaucoup d'autres faits analogues.

Nous avons en France, en une foule de lieux, des minerais crétacés et jurassiques dont le prix, sur le carreau de la mine, ne dépasse pas 4 à 5 fr.

Si donc en Angleterre, dans un district spécial, celui du Cleveland, on ne dépense en minerais par tonne de fonte que 17f,50 à 20 fr., nous avons aussi en France des usines, spécialement favorisées, comme celles de la Moselle, où le minerai entre pour moins de 15 francs dans le prix de revient de la fonte. Mais, en dehors de ces cas spéciaux, il est positif, d'après ce qui précède, qu'en Angleterre on consomme en général, abstraction faite des scories de forge, pour 35 à 40 fr. de minerais, tandis qu'en France nous n'allons qu'à 25 ou 30 fr. Ainsi nous avons sur nos voisins, sous le rapport des minerais, un avantage relatif de 10 fr. par tonne de fonte, ou de 3 à 4 fr. par tonne de minerai.

On voit donc que les forges anglaises n'ont réellement que le bénéfice de la houille à bas prix, mais que, sous le rapport du minerai, nous sommes positivement mieux partagés.

A cet égard nous sommes à peu près dans les mêmes conditions que la Belgique. Dans ce pays, les minerais rendus aux hauts-fourneaux reviennent, en général, à 10 fr. la tonne, ou 25 fr. par tonne de fonte. Mais, comme les Anglais, les Belges ont sur nous l'avantage de la houille à bas prix. En moyenne, elle ne leur re-

vient, livrée en forge, sous forme de tout venant, qu'à 9 ou 10 fr.

Redevances sur les minerais en Angleterre et en France.

Comparons encore les minerais de fer français et et anglais au point de vue des redevances.

En Angleterre, tous les minerais, sans exception, payent des droits aux propriétaires du sol, et l'on a vu ci-dessus que ces droits varient, selon les districts, de 0,50 à 2 fr. En France, les *minières* seules appartiennent aux propriétaires de la surface; les autres gîtes sont concédés par l'État et payent à ce dernier une redevance qui ne dépasse jamais 5 p. 100 du bénéfice net, ou au maximum 20 à 25 cent. par tonne.

Par contre, la redevance (*foltage*) payée aux propriétaires du sol s'est élevée, en 1847, à la somme de 2.291.491 fr. pour 3.463.700 tonnes de minerai brut, correspondant à environ 1.700.000 tonnes de minerai propre à la fusion. Répartie sur l'ensemble de tous les minerais, la redevance aurait été par suite, en 1847, de 1f,36; mais en faisant abstraction des minerais provenant des *mines*, pour lesquels le droit est presque nul, on trouve que la redevance a été, en réalité, d'environ 1f,75 par tonne de minerai préparé provenant des *minières*.

Si l'on calcule d'autre part, d'après les documents officiels, pour cette même année 1847, le montant spécial des redevances, dans chacun des principaux districts où s'exploitent des minières, on trouvera les chiffres suivants :

	fr.
Dans la Haute-Saône.	2,75
Dans le Cher, la Côte-d'Or, les Landes.	2,00
Dans l'Yonne, la Haute-Marne, l'Indre, la Nièvre, la Dordogne, le Nord, l'Allier, la Meuse, le Pas-de-Calais, etc.	1,00 à 1,50
Puis une série de districts moins importants où la redevance varie de.	0,35 à 1,00

Aujourd'hui encore, dans le Cher, le *foltage* par mètre cube varie en général entre 2 francs et 5 francs, soit 1f,10 à 2f,70 par tonne. La moyenne n'est donc pas éloignée de 2 francs, quoique sur certains points privilégiés, voisins des canaux ou des chemins de fer, on paye jusqu'à 6 ou 7 francs par mètre cube. Il n'y a donc pas eu dans le Cher de très-grandes variations sur les redevances depuis 1847, et en général il en est de même dans les autres départements (1).

Ainsi, pour l'ensemble de tous les minerais, provenant des minières, qui sont précisément les plus estimés sous le rapport de la pureté, on ne sera pas fort éloigné de la vérité en estimant encore maintenant la redevance moyenne à 1f,75 par tonne; c'est à peu près l'équivalent de ce que l'on paye pour le minerai brut dans le Staffordshire et en Écosse.

Le pays de Galles et le Cleveland sont mieux partagés; mais là on se borne à produire des fers inférieurs, et ces districts doivent être comparés à nos grandes forges à la houille, où l'on traite principalement des minerais de mines payant au maximum 0f,20 à 0f,30, pour le double droit au propriétaire du sol et à l'État.

Terminons ce chapitre par le tableau suivant résumant la production de l'Angleterre en minerais de fer pendant l'année 1858.

(1) La hausse s'est surtout produite antérieurement à 1847. Dans le Berri, M. Gallicher n'estime la moyenne des redevances qu'à 1 franc en 1840.

Production du Royaume-Uni en minerais de fer en 1858.

DISTRICTS.	PRINCIPAUX COMTÉS.	POIDS des minerais en tonnes.	NATURE du minerai.	Observations.
North-Wales	Denbigshire	88.575	Minerais houillers.	(a)
South-Wales	Glamorgan Caermarthen, etc.	752.231	Minerais houillers.	(a)
Forest de Dean	Gloucester	107.652	Hématite rouge calcaire.	(b)
Bassin houiller du Centre :	South-Staffordshire.	959.000		
	Shropshire	150.500	Minerai houiller.	(c)
Branche Sud	Warwickshire	29.500	Hydroxyde 350.000 Minerai houiller 350.000	(d)
	North-Staffordshire.	700.000		
Branche Ouest	Lancashire (Ulverstone), 23 mines.	438.546	Hématite rouge dans le calcaire carbonifère.	(e)
	Cumberland (Whitehaven), 36 mines.	331.638		
Branche Est	Derbyshire	328.950	Min. houiller et une faible proportion d'hématite rouge.	(f)
	Yorkshire	189.750	Minerai houiller.	
Cleveland	*Id.*	1.367.000	Min. oolithique du lias.	(g)
Ecosse	Lanarckshire. Ayrshire	2.312.000	Minerai houiller et quelques hématites.	(h)
Newcastle Weardale Alston-Moor	Northumberland. Durham. Cumberland	21.000 17.000	Hématite brune et fer spathique décomposé.	(i)
Presqu'île du Cornwall	Cornwall	55.150	Hématite brune.	(j)
	Devonshire	4.754	*Id.*	
	Somersetshire	26.041	Fer spathique.	
District central (branche Est)	Northamptonshire.	140.485	Principalement du minerai carbonaté du lias.	(k)
Localités diverses	Divers.	21.187	Principalement des minerais houillers ou hydroxydés.	
Total		8.040.959		

(*a*) Fondu sur place.
(*b*) Fondu sur place aux hauts fourneaux de Cinderfford et Park-End. 56.712
Expédié dans le Pays de Galles. 34.652
Expédié dans le Staffordshire 16.288
} 107.652t
(*c*) Fondu sur place dans les usines du district de Dudley.
(*d*) Le minerai hydroxydé vient de *Froghall*, de la formation du millstone grit. La moitié du minerai du North-Staffordshire est fondu sur place ; l'autre moitié expédié dans le South-Staffordshire.
(*e*) 2.000 tonnes du Lancashire sont fondus sur place. La majeure partie est expédiée dans le South-Wales.
67.248 tonnes du Cumberland ont été fondus sur place dans les usines de Cleator-Moor, Workington, etc. Le reste est distribué ainsi :
South-Wales. 181.400
Staffordshire et North-Wales. 29.000
Ecosse 12.300
Newcastle et le Cleveland. 41.690
} 264.390t
(*f*) Fondu sur place.
(*g*) Fondu sur place, principalement à Middlesboro.
(*h*) Fondu sur place.
(*i*) Fondu dans le district de Newcastle (Towrlaw et Concett).
(*j*) La majeure partie de ces minerais sont fondus dans le South-Wales.
(*k*) Ce minerai est expédié en majeure partie aux usines du South-Staffordshire et du Derbyshire. Environ 30.000 tonnes sont fondues sur place.

CHAPITRE VI.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES MÉTHODES DE FABRICATION ET LE POIDS DES MATIÈRES PREMIÈRES CONSOMMÉES DANS LES FONDERIES ET FORGES A DIVERSES ÉPOQUES.

Méthodes de fabrication.

Les méthodes de fabrication de la fonte et du fer n'ont pas éprouvé, en Angleterre, de changements majeurs depuis vingt-cinq ans. Le travail des hauts-fourneaux et des forges est encore, dans son ensemble, ce qu'il était lors des derniers voyages de MM. Dufrénoy, Coste et Perdonnet. Cependant les procédés nouveaux se sont généralisés et perfectionnés. La houille crue, l'air chaud, l'agrandissement progressif de la cuve des hauts-fourneaux et des machines soufflantes, dans le traitement des minerais; le puddlage direct, les fours soufflés, la production de la vapeur par les flammes perdues, dans les forges, ont tour à tour largement contribué à réduire le poids de la houille brûlée.

A cet égard pourtant les forges françaises ont marché mieux et plus vite que les usines anglaises, et cela non pas uniquement parce que nous étions fort en retard il y a trente ans, mais surtout parce que le prix des combustibles, plus élevé chez nous, a davantage stimulé nos maîtres de forge.

Sous le rapport de l'utilisation des gaz et des chaleurs perdues, nos forges ont depuis longtemps dépassé leurs modèles et leurs aînées du Royaume-Uni. La consommation totale en houille, par tonne de fer, est aujourd'hui notablement plus élevée en Angleterre qu'en France. Il est intéressant de constater sous ce rapport les progrès respectifs.

Houille consommée par tonne de fer vers 1830 en Angleterre.

Vers 1830, lorsque les hauts-fourneaux marchaient encore au coke et à l'air froid, et lorsque toute la fonte était finée, on consommait, dans le sud du pays de

Galles, d'après les auteurs du *Voyage métallurgique* (t. II, p. 126), 9 tonnes de houille, par tonne de gros fer marchand, sans compter le combustible brûlé pour les machines.

En y comprenant ce dernier, on arrive au chiffre total d'au moins 10 tonnes et 1.345 kil. de fonte.

Dans le Staffordshire, les consommations s'élevaient à peu près aux mêmes chiffres, à savoir (1) :

10 tonnes de houille : { 6t,15 au haut fourneau, 3t,85 à la forge, } et 1.346 kil. de fonte.

Ces 10 tonnes se partageaient ainsi :

7t,71 pour le travail proprement dit,
2t,31 pour les machines à vapeur.
10t,02 (1)

C'était relativement moins que dans le pays de Galles, dont les houilles sont plus riches en carbone.

Dans le Shropshire, le travail du fer exigeait, à la même époque :

12 tonnes de houille : { 8t,40 au haut fourneau, 3t,60 à la forge, } et 1.636 kil. de fonte (2).

Ainsi donc, il y a trente ans, on brûlait, en Angleterre, 10 à 12 tonnes de houille par tonne de gros fer marchand, tandis que maintenant on dépasse rarement 7 1/2 tonnes, et, dans plusieurs forges, 5 1/2 tonnes à 6 tonnes.

Dans le pays de Galles, où les hauts-fourneaux marchent à l'air chaud et en partie à la houille crue, nous trouverons, en effet, ce dernier chiffre. Un tiers ou un

(1) *Voyages mét.*, t. II, page 123.
(2) Page 124.

quart seulement de la fonte brute y est encore finée. Malgré cela, la tonne de fer exige à peu près autant de fonte que vers 1830. L'air chaud et la réduction des scories l'ont rendue plus impure et ont plutôt accru le déchet des forges.

Dans le Staffordshire, dont les fontes sont plus pures et où on ne les maze plus pour fers ordinaires, on consomme actuellement :

1.275 à 1.280 kil. de fonte,
et 7 1/4 à 7 1/2 tonnes de houille.

Enfin, dans les usines neuves du Cleveland, dont les hauts-fourneaux marchent au coke, la consommation moyenne, par tonne de gros fer marchand ou de rails, est de 6 tonnes. Une partie de la fonte y est également mazée comme dans le pays de Galles. Dans ces forges du Cleveland on est à peu près arrivé au minimum de consommation ; car on utilise les gaz des hauts-fourneaux et les flammes des fours à réverbère. Et si, malgré cela, on brûle encore 6 tonnes, c'est que le combustible y est à longue flamme, et le minerai impur, pauvre et réfractaire.

Dans le pays de Galles et surtout dans le Staffordshire, on perd encore en majeure partie les gaz des hauts-fourneaux, et dans les forges on n'utilise que partiellement les flammes des réverbères.

On pourrait donc arriver, dans le pays de Galles, à 4 1/2 tonnes ou 5 tonnes, et dans le Staffordshire à 6 tonnes ou 6 1/2 tonnes ; c'est, comme nous allons le voir, la consommation actuelle des forges de France.

Mais avant de parler du temps présent, remontons également à trente ans, afin de mieux faire ressortir les progrès réalisés par nos maîtres de forges.

Houille consommée par tonne de fer vers 1830 en France.

A l'usine de Decazeville, d'après le mémoire de M. Pillet-Will, on consommait à l'origine (vers 1830), par tonne de gros fer marchand, la masse énorme

de. . . . . 26t,689 de houille,
et. . . . . 1.760kil de fonte (1),

savoir :		kil.
	au haut-fourneau.	16.495
	à la finerie	3.510
	au puddlage.	1.687
	au réchauffage	925
	pour les machines.	4.072
	Total.	26.689

En 1833, d'après des notes fournies par M. Manès, alors directeur de cet établissement, il fallait encore près de 23 tonnes de houille et 1.650 kil. de fonte.

Vers 1834, on était descendu à 16 tonnes, et actuellement, en marchant à l'air chaud, supprimant le finage et utilisant les gaz et les flammes des fours, on ne consomme plus que 8 à 10 tonnes. C'est, néanmoins encore, un chiffre élevé, mais qui s'explique par la nature peu carburée de la houille et la pauvreté du minerai (20 à 25 p. 100).

Les mêmes causes expliquent les chiffres de la forge voisine d'Aubin, dont les consommations ont été de 9 tonnes par tonne de rails en 1860.

L'usine du Creusot ne marchait guère mieux que Decazeville, il y a vingt-cinq ou vingt-six ans.

D'après les auteurs du *Voyage métallurgique*, on y brûlait, par tonne de fer fini de divers échantillons :

(1) *Voyages mét.*, t. II, p. 127.
Non-seulement toute la fonte était alors finie, mais tout le fer brut soumis au ballage.

15 tonnes de houille et 1.692 kil. de fonte (1),

savoir :		kil.
	au haut-fourneau.	8.250
	à la finerie	2.000
	au puddlage.	947
	au réchauffage.	850
	pour les machines	3.025
	Total.	15.072

Comme à Decazeville, toute la fonte était alors finée, mais on n'avait pas recours au ballage. Aujourd'hui, par tonne de gros fer ou de rails, la consommation totale ne dépasse pas cinq tonnes de houille menue de qualité inférieure.

Enfin, dans les forges de la Loire, on peut constater des progrès analogues, quoique, dès 1830, on était presque parvenu à égaler les forges du pays de Galles.

De 1830 à 1833, lorsque toute la fonte était encore mazée, on y consommait en effet, par tonne de gros fer fini,

11 tonnes de houille et 1.375 à 1.380 kil. de fonte,

savoir :		kil.
	au haut fourneau.	6.900
	à la forge.	3.096
	pour les machines	1.080
	Total.	11.076

tandis que maintenant on ne dépasse guère, par tonne de rails ou de gros fers marchands, 4 tonnes 1/2 à 5 tonnes de houille menue, généralement plus chargée de cendres que la houille des forges anglaises, et 1,250 à 1,270 kilogrammes de fonte.

Ainsi donc, sous le rapport de l'utilisation des combustibles, nous n'avons rien à apprendre des Anglais. Nous brûlons 1 tonne, ou 20 p. 100, de houille de moins que nos voisins, et cependant nos minerais sont

(1) *Voyages mét.*, t. II, p. 128.

en général moins fusibles et moins réductibles que ceux du Royaume-Uni.

En nous imitant, c'est-à-dire en utilisant mieux les gaz et les flammes perdues, les Anglais pourraient donc économiser 1 tonne de houille par tonne de fer, ce qui réduirait de 5 sh. (6f,25) leur prix de revient. Mais la hausse sans cesse croissante de la houille, des minerais et de la main-d'œuvre compense, et au delà, l'économie possible et empêchera à l'avenir toute baisse durable au-dessous des prix actuels.

Au reste, le tableau graphique du cours des fers, que nous publions à la fin de la troisième partie de ce travail, prouve que le prix de revient des fers en Angleterre tend plutôt à hausser depuis trente ans.

On voit en effet par ce tableau

	£ sh.
Qu'en 1832 le prix de vente des fers était de	5.10
— 1843.	4 à 4£.15 sh.
— 1851.	4.7½ à 4.12½
— 1858.	6.10
— 1859.	5.12 à 5.15
— 1860 (juin)	5.10

Ainsi, dès 1832, les prix étaient descendus au taux actuel et, en 1843 et 1851, bien au-dessous. Or, dans les conditions présentes, le prix de vente ne pourrait, dans aucun cas, s'abaisser au-dessous de 5 liv. (124 fr. par 1,000 kil.) sans amener la ruine de toutes les forges.

Par suite, il est bien évident que le prix de revient actuel ne saurait être inférieur à celui de 1832, et qu'il est certainement supérieur à ceux de 1843 et 1851.

Nous venons de montrer que sous le rapport du bon emploi des combustibles, nous avons dépassé les Anglais. Ajoutons que nous les avons atteints à d'autres égards. Nos grandes forges sont, à peu d'exceptions

près, aussi bien outillées que les établissements anglais; nos rendements tout aussi élevés et nos déchets souvent plus faibles. Si dans quelques détails on peut encore constater une certaine infériorité, que nous signalerons dans le cours de ce travail, elle est réellement insignifiante et se trouve presque toujours compensée par une avance incontestable, dans un autre sens. Au point de vue de l'organisation des ateliers, nos forges pourraient produire aussi rapidement et aussi économiquement que les similaires anglais. Mais ce qui leur manque, c'est la continuité et l'importance des commandes d'une *même* sorte de fer.

La production *spécifique* est plus élevée en Angleterre, et par suite les frais généraux moins considérables que dans nos forges, à cause de la spécialisation de la fabrication. Chaque forge anglaise ne produit que certaines sortes de fers. C'est la division du travail sur une vaste échelle. A part cela, nous ne saurions assez le redire, l'avantage des Anglais, dans le travail du fer, ne réside plus aujoud'hui que dans le bas prix de la houille et la faible distance qui sépare leurs forges des ports d'embarquement. De cette proximité de la mer dépend la grandeur du marché, et de ce marché si vaste, la possibilité de rouler à plein travail et de se contenter d'un minime bénéfice par tonne.

La suite à la prochaine livraison.

INVENTIONS ET APPLICATIONS NOUVELLES

SE RATTACHANT A L'ART DES MINES

ET AYANT DONNÉ DE BONS RÉSULTATS DANS LE BASSIN HOUILLER DE VALENCIENNES (*Suite*) (1).

Par M. E. DORMOY, ingénieur des mines.

VI. GÉNÉRATEUR DE VAPEUR CHAUFFÉ PAR UN FOUR A CHAUX.

Dans toutes les carrières de pierres calcaires, il reste, après la taille des blocs, des déchets plus ou moins nombreux que l'on cherche à utiliser : une partie est employée à l'empierrement des routes; le reste est ordinairement converti en chaux. Dans le nord de la France et en Belgique, un grand nombre de carrières sont ouvertes dans le calcaire carbonifère, ou étage inférieur de la formation houillère. Les déchets destinés à l'empierrement des routes sont achetés par l'administration des ponts et chaussées à raison de 1^{f},50 le mètre cube; mais la plus grande partie est passée dans des fours à chaux établis sur place. Ces fours, construits sur de petites dimensions, c'est-à-dire sur une hauteur de 5 mètres environ, consomment généralement 1 hectolitre de charbon maigre, ou anthracite, pour 3 hectolitres de pierres, soit, en poids, 30 kil. de charbon pour 128 kil. de pierres, ou 25 p. 100.

La conduite d'un four, traitant 30 hectolitres par vingt-quatre heures, exige la présence de 2 ouvriers pendant le jour et 1 pendant la nuit, pour amener et charger les pierres, etc.; il produit 30 hectolitres de chaux; en estimant la journée d'ouvrier à 2 francs, le

(1) Voyez page 1 de ce volume.

charbon à 1ᶠ,20 l'hectolitre, et la pierre à 0ᶠ,15, ainsi qu'on le fait lorsqu'il y a plusieurs associés pour l'exploitation de la carrière, le prix de revient de la chaux peut s'établir comme suit :

30 hectolitres de pierres à 0ᶠ,15. . .	4,50
10 hectolitres d'anthracite à 1ᶠ,20. .	12,00
3 journées d'ouvriers à 2ᶠ,00. . . .	6,00
Pour 30 hectolitres de chaux. . .	22,50

La chaux revient donc, dans ces conditions, à 0ᶠ,75 l'hectolitre, et c'est en effet à peu près à ce prix qu'elle est livrée aux agriculteurs, qui en font une grande consommation à cause de la culture de la betterave. Il n'y a donc généralement que bien peu de bénéfices à faire sur le four à chaux, et l'on considère simplement cette fabrication comme un moyen d'écouler les déchets de pierres provenant du débit des blocs. Mais une invention récente, et dont le succès paraît assuré, permet au contraire de tirer un parti considérable du four à chaux, et d'y trouver la source de grandes économies dans l'exploitation de la carrière. Cette exploitation, en effet, appelle l'emploi d'une machine à vapeur, tant pour tirer les pierres au jour et pour épuiser les eaux au besoin, que pour scier, débiter et polir les blocs sur place. Dans les carrières où il n'existe pas de force mécanique, on extrait les pierres au moyen d'un cabestan mû par 2 chevaux ou par 3 ou 4 ouvriers; on débite en outre une partie des blocs sur place, au moyen de coins. L'emploi de ce mode tout à fait primitif fait perdre en moyenne un tiers ou un quart de l'épaisseur de la pierre; car un bloc qui présente, par exemple, 1 mètre à 1ᵐ,20 d'épaisseur saine, et qui pourrait être débité à la scie en trois tables de 0,30 ou 0,32 chacune, n'en peut fournir que deux, si on le débite au coin. Quant aux blocs que l'on envoie à la

scierie, on est obligé de payer la dépense du transport, dépense souvent considérable à cause du parcours par routes de terre. Aussi la plupart des exploitants se trouvent amenés à placer près de leurs carrières une machine produisant la force nécessaire pour ces diverses opérations : quelquefois ces machines sont mues par des courants d'eau; plus souvent ce sont des machines à vapeur fixes, ou des locomobiles.

Objet du système.

Faire servir le four à chaux à la production de la vapeur destinée à la machine, et cela sans nécessiter la construction d'aucune maçonnerie pour les fourneaux, et sans augmenter la dépense de combustible du four à chaux, tel est le problème qui a été résolu de la manière la plus simple et la plus satisfaisante.

C'est en 1859 que l'installation de ce système a eu lieu sur un four à chaux existant déjà depuis longtemps près d'une carrière de la commune de Bellignies (arrondissement d'Avesnes (Nord). Ce four présente 5 mètres de hauteur et une ouverture circulaire d'un diamètre de 2ᵐ,40 en haut, et de 2 mètres à la partie inférieure : il est du système continu, et permet de traiter par vingt-quatre heures 30 hectolitres de pierres, donnant le même volume de chaux. La carrière est ouverte dans le calcaire carbonifère qui sert de base au bassin houiller de Valenciennes : le four à chaux y est annexé. Les propriétaires, MM. Lerat et Colment, se sont procuré une chaudière et une machine à vapeur d'occasion, et toutes deux en assez mauvais état. La chaudière a 3 mètres de longueur et 0ᵐ,75 de diamètre; elle est simplement posée au-dessus de l'orifice supérieur du four, préalablement échancré de manière à laisser plonger la moitié de son épaisseur; elle est supportée des deux côtés par les parois. On peut en outre, en cas de réparations à faire au foyer, la soulever au moyen

de deux chaînes accrochées à ses deux extrémités et aboutissant à un petit treuil placé au-dessus du tout sur un châssis à trois pieds. Dans la marche normale, les chaînes restent en position, mais ne sont pas tendues. La machine fait marcher : 1° un châssis de 20 lames de scies, pour le débit des blocs de pierre ; 2° un cabestan pour élever du fond de la carrière les blocs et les déchets; 3° deux pompes qui prennent l'eau à une distance de 50 mètres, et qui l'emploient à l'alimentation de la chaudière et à divers usages. Les scies, qui marchent jour et nuit, avancent, dans le bloc à débiter, de $0^m,15$ en vingt-quatre heures, c'est-à-dire autant et plus que dans les meilleures scieries du pays. Toute la force disponible étant loin d'être utilisée, j'ai fait quelques expériences sur cette machine, afin de constater la quantité de vapeur produite et la force créée. Il faut remarquer que la chaudière et la machine sont, par elles-mêmes, dans de mauvaises conditions. Ainsi, la chaudière, toujours remplie d'eau jusqu'à $0^m,20$ au plus au-dessous de sa partie supérieure, ne porte pas de dôme pour la prise de vapeur; de plus, le tuyau qui conduit cette vapeur au cylindre a, à cause de la disposition des lieux, 11 mètres de longueur, et n'est recouvert d'aucune substance isolante; pour ces deux causes, il doit donc passer beaucoup d'eau avec la vapeur; et en effet le robinet de purge du cylindre, lorsqu'il reste ouvert pendant la marche, dégage presque constamment de l'eau. Quant à la machine, son tiroir présente une trop grande avance à l'admission; et, pour donner une idée de sa construction, je dirai que le cylindre présentait originairement $0^m,20$ de longueur intérieure de plus que la course du piston, défaut auquel il avait été remédié avant les expériences.

J'ai déterminé par divers essais : 1° la quantité de vapeur produite; 2° la force développée dans la machine; 3° la force réellement communiquée à l'arbre moteur; 4° la consommation de charbon.

Quantité de vapeur produite. — On ne peut la mesurer que par la quantité d'eau introduite dans la chaudière. En allure normale, la machine fait jour et nuit 65 tours par minute; on alimente deux fois en trois heures, et pendant vingt minutes chaque fois. Pendant un intervalle de vingt-quatre heures, on a alimenté dix-huit fois, et le volume d'eau introduit à chaque fois a été de 177 litres; ce qui donne 3.186 litres en vingt-quatre heures, ou 133 litres par heure. Mais l'eau entraînée par la vapeur, mesurée à diverses reprises en recueillant celle qui sortait par le robinet de purge pendant une heure, n'était pas moindre de 25 litres par heure; il restait donc 108 litres, ou 108 kil. d'eau vaporisée.

Force développée dans la machine. — La machine est horizontale et à haute pression; le piston a $0^m,56$ de course, et le cylindre $0^m,24$ de diamètre. La détente s'y fait à la moitié de la course. La vapeur a généralement 3 1/2 à 4 atm. de pression dans la chaudière; mais elle perd 1 à 1 1/4 atm. avant d'arriver au cylindre, ainsi qu'on le constate soit par la comparaison de deux manomètres, soit par le dynanomètre de Watt. En admettant que la vapeur entre dans le cylindre à la pression de $2^{atm},75$, c'est-à-dire à la température de 132°, le travail théorique que pourrait produire la machine, pour 1 kil. d'eau vaporisée, s'il ne s'y exerçait aucun frottement, serait donné par la formule suivante :

$$Tm = 12.822(1+0,00366\times 132)\left(1+\log \text{nép.}\, 2-\frac{1}{1,37}\right).$$

Il serait donc de 18.284 kilogrammètres.

J'ai mesuré, au moyen du dynamomètre de Watt, le travail effectif de cette machine; lorsqu'elle n'avait à faire mouvoir qu'elle-même et les deux pompes aspirante et foulante, elle accusait au diagramme un travail effectif de 64 kilogrammètres par seconde. En la chargeant autant que possible au moyen d'un frein, elle pouvait atteindre à un travail total de 342 kilogrammètres par seconde. Or, d'après l'expérience qui précède, elle consommait pendant ce temps un volume de vapeur correspondant à 30 grammes d'eau, et par conséquent son

travail théorique aurait dû être 548 kilogrammètres. L'effet utile s'est donc élevé à 62 p. 100 du travail théorique, fraction beaucoup plus élevée qu'on ne l'aurait supposé, d'après sa construction et les circonstances de sa marche.

Force communiquée à l'arbre moteur. — En serrant l'arbre moteur dans un frein auquel on suspend des poids jusqu'à ce qu'il se tienne exactement horizontal pendant la marche de la machine, on produit un frottement qui consomme toute la force transmise à cet arbre : f étant le frottement sur l'unité de surface, r le rayon de l'arbre, P le poids total soulevé, et L son bras de levier, le travail de la machine pendant un tour, est donc représenté par $2\pi fr$ ou, à cause de l'égalité des moments fr et PL, par 2πPL. En serrant plus ou moins le frein, j'ai fait de cette manière diverses expériences dont les résultats sont indiqués dans le tableau suivant :

RÉSULTATS OBSERVÉS.					RÉSULTATS CALCULÉS.			
					MOMENT			
Nombre de tours en une minute $= n$.	Poids total du frein.	Bras de levier de son centre de gravité.	Poids additionnels.	Leur bras de levier.	du frein.	des poids.	total $= M$	Travail total en une seconde $2\pi M \frac{n}{60}$
	k.	m.						kilogm.
63	11	1.058	0	0	43,37	0	43,37	283
50	41	1 058	3	1.06	43,37	4,80	48,17	252
42	41	1.058	6	1,64	43,37	9.80	53,21	244
65	15	0.806	11 5	2,00 2,30	12,10	33,50	45,60	310
34	15	0.806	15 9	2,00 2 30	12,10	50,70	62,89	224
27	15	0.806	20 5	2,20 2,00	13,10	54,00	66,10	187
Moyenne du travail par seconde								250

On remarque que l'effet utile relatif augmente avec le nombre de tours, bien que dans tous les cas la machine dépense toute sa force; mais ce résultat n'importe pas au fait que nous voulons constater.

La moyenne de ces nombres représente un travail transmis à l'arbre, de 250 kilogrammètres. Si l'on y joint les 64 kilogrammètres que la machine emploie pour se mouvoir elle-même, et qui ne sont par conséquent pas transmis à l'arbre on voit que le travail total développé par la vapeur est ici de

314 kilogrammètres. Nous avions obtenu au diagramme 342 kilogrammètres; mais ce dernier nombre n'est qu'un maximum, attendu qu'il se rapporte au diagramme le plus favorable, et il ne nous a servi qu'à déterminer quelle fraction de l'effet utile était réellement utilisée par la machine. Cette fraction était de 62 p. 100 dans le cas du maximum; pour la moyenne, elle serait un peu moindre, et descendrait à 60 p. 100. Les 314 kilogrammètres d'effet utile produit correspondent donc à 523 kilogrammètres d'effet théorique incarné dans la quantité de vapeur qui se consomme en une seconde. Cet effet doit être, d'après le calcul, de 18.284 kilogrammètres par kilogramme d'eau; donc la quantité d'eau vaporisée, calculée d'après l'expérience du frein, doit être de $28^k,6$ par seconde. Ainsi l'expérience du frein confirme l'expérience faite directement qui avait donné 30 grammes; le chiffre actuel est un peu moindre, ce qui prouverait qu'il y a eu un peu plus d'eau entraîné qu'on ne l'avait cru d'abord. En prenant la moyenne, on arrive à $29^k,3$ par seconde, ou 105 kil. par heure pour la puissance vaporisatrice de la chaudière. Or qu'aurait donné cette même chaudière chauffée au charbon dans un foyer ordinaire?

Sa surface de chauffe aurait été de $3^m7,53$; et, à raison de 25 kil. d'eau par mètre quarré, elle n'aurait pu vaporiser que 88 kil. d'eau. Ainsi, à surface de chauffe égale, la quantité d'eau vaporisée par le contact des flammes du four à chaux a dépassé d'un quart celle qu'aurait pu vaporiser un foyer ordinaire.

Après ce résultat, dont l'importance est déjà capitale au point de vue actuel, il ne reste plus qu'à examiner quelle quantité de charbon le four à chaux a dû consommer pour le produire.

Consommation de charbon.

On devait penser au premier abord qu'on aurait consommé beaucoup plus de charbon dans le four muni d'une chaudière, ou que, pour la même quantité de charbon, la chaux aurait été bien moins cuite. Mais l'augmentation de consommation a été à peine sensible. Les ouvriers chargés de la conduite du four ne se sont

aperçus d'aucun changement; ce n'est que par des mesures exactes qu'on a pu se convaincre que l'on consommait pour 3 hectolitres de pierres, 1h,09 du même charbon, au lieu de 1 hectolitre, et les 3 hectolitres de chaux produits, employés en grande partie pour l'agriculture, ont toujours été trouvés de même qualité que par le passé, et se sont vendus le même prix. Si la chaudière et la machine ne s'étaient pas trouvées d'elles-mêmes dans de mauvaises conditions, on doit admettre que l'on n'aurait pas consommé plus de combustible avec la chaudière que sans elle, ce qu'on peut expliquer de la manière suivante.

Dans les fours à chaux ordinaires le charbon qui est au centre de la masse se trouve souvent en excès, et les gaz de la combustion ne rencontrent pas, avant d'arriver à l'orifice, assez d'oxygène pour se brûler complétement; il sort beaucoup d'oxyde de carbone, ce que dénote la flamme bleue que l'on aperçoit au-dessus d'eux, et ce qu'indique aussi l'odeur particulière que ces fours dégagent, principalement le matin, après que l'on a chargé le charbon plus abondamment. Au contraire, dans le four surmonté de sa chaudière, les gaz brûlés viennent tous, avant de se perdre dans l'atmosphère, lécher la partie inférieure du générateur, où se développe toujours une forte combustion, et la presque totalité se transforme en acide carbonique. La chaleur du combustible est donc plus complétement utilisée; la chaudière ne fait donc que mieux répartir la combustion, et n'absorbe que la chaleur perdue, de même que les chaudières placées sur les fours à puddler utilisent la chaleur perdue des gaz.

Outre l'économie du combustible qu'aurait consommé le générateur, cette disposition a encore l'avantage de n'exiger aucune construction ni maçonnerie pour l'installation de la chaudière, qui est supportée par les parois même du four, et de ne pas nécessiter la présence d'un chauffeur: les ouvriers chaufourniers surveillent la chaudière, qu'il suffit du reste d'alimenter en temps opportun.

Perfectionnements.

Il y aurait, en conservant le même principe, plusieurs modifications à apporter à l'installation de la chaudière. Il faudrait d'abord qu'elle portât un dôme de prise de vapeur de 1 mètre de hauteur, et que le four fût un peu plus grand, afin de pouvoir y recouvrir de pierres toute la portion cylindrique du générateur. Si l'on construisait un four à chaux avec le dessein d'y installer cet appareil, il serait également préférable de lui donner la forme ovale, de manière à placer à sa partie supérieure une chaudière un peu plus longue que son grand axe, et s'appuyant des deux côtés dans la maçonnerie. Une chaudière de 5 mètres de longueur, placée sur un four ovale de 6 à 8 mètres de hauteur, pourrait faire fonctionner une machine de 12 chevaux; ce qui permettrait de faire marcher 3 ou 4 châssis de 20 lames de scie, un cabestan pour l'extraction des pierres, un roulage sur rails pour leur chargement, des pompes pour extraire l'eau et alimenter, etc.

Résumé.

Ainsi, en résumé, quand on doit annexer une machine à vapeur à une carrière munie d'un four à chaux (et c'est le seul moyen d'arriver à une bonne exploitation), ce système permet d'obtenir, de la même surface de chauffe, un quart en sus de la vapeur que donnerait un foyer ordinaire; il permet d'employer une chaudière moins forte et de ne faire aucune dépense pour l'installation des maçonneries des fourneaux. En

outre, il économise tout le combustible et toute la main-d'œuvre de conduite de la chaudière, économie que l'on peut évaluer à 20 francs par jour, ou 4.000 francs par an, à raison de 200 jours de marche.

EXTRAITS DE MINÉRALOGIE

Par M. DE SÉNARMONT.

(TRAVAUX DE 1860.)

Analyse de diallage; par RAMMELSBERG.

(*Zeitschr. d. deutschen geol. Gesellsch.*, XI, p. 61.)

Diallage en masses lamelleuses, brunes ou verdâtres, de Baste (Radauthal dans le Harz). Densité, 3,300.

SiO^3	M^2O^3	FeO	MgO	CaO	HO	Total.
52,00	3,10	9,36	18,51	16,29	1,10	100,36

Ces nombres s'accordent avec la formule 3RO, $2SiO^3$.

Analyse de smaragdite; par T. S. HUNT.

(*Sillim. Amer. Journ.* [2], t. XXVII, p. 348.)

Smaragdite vert d'herbe de l'Euphotide du mont Rose. Dureté, 1,15. Densité, 3,10 — 3,12.

SiO^3	Al^2O^3	CaO	MgO	FeO	Cr^2O^3	NiO	NaO	Perte au feu.	Total.
54,30	4,54	13,72	19,01	3,87	0,61	traces.	2,80	0,30	99,15

Sur un minéral ressemblant à l'amphibole; par A. KNOP.

(*Ann. der Chem. und Pharm.*, t. CX, p. 363.)

Ce minéral se trouve à Waldheim, en Saxe, dans de la serpentine. Il est vert poireau, translucide, bacillaire ou fibreux, d'un éclat vitreux ou soyeux.

Dureté, 5. Densité, 2,957.

Analyses : A. par Knop, B. et C. par W. Hoffmann.

Le carbonate de chaux avait été préalablement enlevé à l'aide de l'acide chlorhydrique.

	SiO^3	Al^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	Total.
A.	58,71	1,52	5,65	0,25	11,53	10,01	12,38	100,05
B.	58,45	1,92	5,53	0,51	10,28	11,12	12,61	100,42
C.	58,45	1,74	5,30	0,32	10,76	10,83	12,93	100,83

Ces nombres ne s'accordent ni avec la formule RO, SiO^3, ni avec celle de l'amphibole.

Analyse du feldspath vitreux du Drachenfels (Siebengebirge); par RAMMELSBERG.

(*Zeitschr. d. deutschen geol. gesellsch.*, XI, 434.)

SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	KO	NaO	CuO	MgO	Perte au feu.	Total.
65,87	18,53	traces.	10,32	3,42	0,95	0,39	0,44	99,92

Analyse d'albite de Claveras-County (Californie); par F. A. GENTH.

(*Sillim. Amer. Journ.* [2], t. XXVIII, p. 249.)

Cristaux peu nets, accompagnés de pyrite aurifère et d'or natif.

SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	NaO	KO	Pere au feu.	Total.
68,39	19.65	0,41	0,47	10,97	tr.	0,21	100,10

Analyses d'émeraude; par W. HOFMEISTER.

(*Journ. für prakt. Chem.*, t. LXXVI, p. 1.)

A. Béryl blanc grisâtre de Rosenbach en Silésie.

B. Émeraude vert foncé presque transparente du Heubachthal (Pinzgan supérieur).

	SiO^3	Al^2O^3	Be^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO
A. Densité : 2,65,	65,34	21,01	11,32	1,21	0,26	0,12
	65,69	20,41	11,60	1,45	0,20	0,11
B. Densité : 2,63.	66,22	16,36	12,79	1,63	0,78	0,83

Les rapports de l'oxygène dans la glucine, l'alumine et la silice sont à peu près 1 : 1 : 4.

Analyse d'éléolithe verte; par PUSIREWSKY.

(*Koksharow's Materialien zur Miner. Russlands*, III, 78.)

Se trouve dans la mine de graphite de Mariinskaja (monts Tunkinsk en Transbaïkalie), accompagnée de cancrinite, de graphite, de zircon et de divers autres minéraux.

SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	NaO	KO	Total.
44,94	30,29	0,72	1,15	0,15	21,80	1,48	100,53

Analyse de boltonite; par G. J. BRUSH.

(*Sillim. Amer. Journ.* [2], t. XXVII, p. 395.)

Cristaux irréguliers, gris de cendre foncé, offrant un clivage facile; remis par Shépard lui-même à l'auteur.

Dureté, 6. Densité, 3,21.

SiO^3	MgO	FeO	Al^2O^3	CaO	Perte au feu.	Total.
42,82	54,44	1,47	traces.	0,85	0,76	100,34

Ces nombres s'accordent avec la formule du péridot et donnent raison à J. L. Smith contre Kenngott et Hauer (1).

Analyse d'orthite d'Arendal; par C. ZITTEL.

(*Ann. der Chem. und Pharm.*, t. CXII, p. 85.)

SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	MnO	CeO	LaO et DiO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	CO^2	Total.
32,70	17,44	16,26	0,34	3,92	15,41	11,24	0,90	0,51	0,24	2,47	0,28	101,71

Sur la brewstérite; par J. W. MALLET.

(*Sillim. Amer. Journ.* [2], t. XXVIII, p. 48.)

Brewstérite de Strontian (Écosse). Densité, 2,455.

SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	BaO	SrO	CaO	HO	Total.
54,42	15,25	traces.	6,80	8,99	1,19	13,22	99,87

(1) *Jahresbericht*, 1854. p. 820 et 821

Sur la pholérite; par F. A. GENTH.

(*Sillim. Amer. Journ.* [2], t. XXVIII, p. 251.)

On trouve la pholérite en petites lames jaunâtres, blanches, après traitement à l'acide chlorhydrique, nacrées et paraissant appartenir au type de prisme rhomboïdal oblique, dans les mines de houille de Schuylkill-County (Philadelphia).

La pholérite de Tamagua, près Pottsille, a donné à l'analyse:

1, telle qu'on la rencontre;
2, après traitement à l'acide chlorhydrique.

	SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	NaO	KO	HO	Total.
1.	46,93	37,90	0,18	0,93	?	?	13,98	99,92
2.	46,98	39,65	»	»	0,11	0,06	13,69	100,49
	46,81	39,56	»	»	0,11	0,06	13,91	100,45

Ces résultats s'accordent avec la formule :

$$3Al^2O^3, 4SiO^3 + 6HO.$$

Analyses de cancrinite; par PUSIREWSKY.

(*Kokscharow's Materialien zur Miner. Russlands*, III, 76.)

A. Cancrinite des monts Ilmen. Densité, 2,489.

B. Cancrinite jaune de la mine de graphite de Mariinskaja (monts Tunkinsk). Densité, 2,454.

	SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	NaO	CaO	Co^2	HO	SO^3	Total.
A.	35,71	29,58	»	18,78	5,56	5,56	3,76	0,32	99,27
	36,21	29,56	0.19	18,27	5,81	5,54	3,64	»	99,22
B.	37,72	27,75	»	21,60	3,11	5,61	4,07	»	99,86

Analyses de silicates d'alumine hydratés; par A. KNOP.

(*Jahrb. für Mineralogie*, 1859, p. 544 et 573.)

I. Minéral blanc jaunâtre, qui se trouve à Niederrabenstein, près Chemnitz; il fait une pâte avec l'eau; au microscope, se montre formé d'écailles cristallines. Il se rencontre dans un

état de pureté moindre sous les tufs feldspathiques du bassin de l'Erzgebirg. *a*. Séché à 160°. *b*. Même analyse, déduction faite du résidu insoluble.

II. Kaolin formant des nids dans un tuf psammitique au Zeisigwald, près Chemnitz; au microscope il se présente en tables rhomboïdales blanches.

	SiO^3	Al^2O^3 (*)	CaO	MgO	HO	Résidu insoluble.	Total.
I. *a*	36,02	42,03	0,15	traces.	13,52	7,91	99,63
b	39,34	45,90	»	»	14,76	»	100,00
II.	49,91	35,23	traces de KO		14,86	»	100,00

(*) Avec une trace de peroxyde de fer.

L'analyse I*b* conduit à la formule :

$$H^2O^3, SiO^3 + 2HO.$$

Sur la röttisite; par A. BREITHAUPT.

(*Berg. und Hüttenmännische Zeitung*, 1859, p. 1.)

Masses épaisses lenticulaires, allant jusqu'au poids de quelques kilogrammes, d'un vert émeraude passant rarement au vert pomme, mates, opaques, quelquefois translucides sur les bords. Cassure conchoïde, compacte ou terreuse. Poussière, vert pomme foncé.

Dureté, 2,3. Densité, 2,356, 2,370.

Se trouve dans la mine Hans-Georg, près Röttis (Voigtland Saxon).

Analyse par A. Winkler :

NiO	CoO	CuO	Fe^2O^3	Al^2O^3	SiO^3	PhO^5	AsO^5	SO^3	HO
35,87	0,67	0,40	0,81	4,68	39,15	2,70	0,80	tr.	11,17

D'après Breithaupt, la röttisite est composée essentiellement du sulfate de nickel :

$$3(NiO, SO^3) + 4HO.$$

Dana (1) ne regarde pas comme démontrée la différence spécifique de cette substance avec la nickel-gymnite.

(*) *Sillim. Amer. Journ.*, [2], t. XXVIII, p. 440.

Sur la Mélanhydrite; par KRANTZ.

(*Verhandl. d. natur., Versam. d. Reinlande u. Westphalens*, XVI, Jahgr. 154.)

Substance amorphe, en rognons, dans une roche provenant de l'altération d'un basalte, dans le Schmelzerthal, près de Honnef sur le Rhin. Cassure conchoïde, opaque, noir velouté; poussière brune, happant à la langue.

Densité, 1,820.

Analyse par Rammelsberg :

SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	MgO	CaO	HO	Total.
41,63	18,72	2,36	7,83	2,51	5,23	1,67	20,71	100,66

Ce minéral se rapproche de la palagonite.

Sur la cyanolithe, la centrallassite et la cérinite; par H. How.

(*Edimb. new. Phil. Journ.*, new series X., 84.)

Un rognon trouvé dans le trapp à Findy-Bay, à un mille à l'ouest de Black-Rook, était composé d'une couche extérieure verte chloritoïde, au-dessous de laquelle venait une couche cireuse d'un blanc jaunâtre (*cérinite*); à l'intérieur, on voyait une masse rayonnée blanche d'un vif éclat nacré (*centrallassite*), et enfin, au centre, une substance amorphe opaque d'un gris bleuâtre (*cyanolithe*).

I. *Cyanolithe.* — Dureté, 4,5. Densité, 2,495. Poussière blanche. Éclat mat. Inattaquable par l'acide azotique. Au chalumeau fond, sur les bords.

$$4CaO, 10SiO^3 + 5HO.$$

II. *Centrallassite.* — Dureté, 3,5. Densité, 2,45, 2,46. Chauffée dans un tube, donne de l'eau en devenant opaque. Fond facilement au chalumeau, avec bouillonnement, en un verre opaque. L'acide chlorhydrique la décompose facilement.

$$4CaO, 5SiO^3 + 5HO.$$

III. *Cérinite.* — Dureté, 3,5. Fond au chalumeau sans se gonfler. L'acide chlorhydrique ne la décompose pas complétement.

$$3(CaO, SiO^3) + 2(Al^2O^3, 3SiO^3) + 12HO.$$

	SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	HO	Total.
I.	74,15	0,84	»	17,52	tr.	0,53	7.39	100,43
	72,52	1,24	»	18,19	tr.	0,61	6.91	99,47
II.	59,05	1,00	»	27,86	0,20	?	11,40	»
	58,67	1,28	»	27,97	0,13	0,59	11,43	100,07
III.	58,13	12,21	1,01	9,49	1,83	0,37	15,96	99,00
	57,02	13,11	1,27	10,15	1,91	?	15,42	98,88

Sur la franklinite; par RAMMELSBERG.

(*Pogg. Annal.*, t. CVII, p. 312.)

Rammelsberg considère la franklinite comme présentant la composition $3RO, R^2O^3$; il se fonde pour cela sur les analyses suivantes faites par lui, ou sous sa direction par Schulz.

	1	2	3	4	5
Fe^2O^3.	64,28	65,32	64,92	63,40	64,64
Mn^2O^3	»	13.08	13,87	13,28	13,81
ZuO.	»	»	25,09	26,83	25,51
			103,88	103,51	103,96

Il admet qu'une partie du manganèse est à l'état de sesquioxyde.

Analyse de schéelite; par F. A. GENTH.

(*Sillim. Amer. Journ.* [2], t. XXIV, p. 382.)

Schéelite en masses grenues d'un jaune grisâtre-clair, de la mine Bangle (Cabarras-County, Caroline du Nord).

SnO^2	Wo^2	CuO	Fe^2O^3	CaO	Total.
0,13	79,52	0,08	0,18	19,31	99,22

Certains cristaux rhombiques de tungstate de chaux renfermant à leur intérieur du wolfram, et provenant de la mine Flowe (Meklenburgh-County, Caroline du Nord), ne sont pas regardés par l'auteur comme des pseudomorphoses, mais plutôt comme une variété dimorphe du tungstate de chaux.

Sur le plomb vanadiaté; par H. STRUVE.

(*Kokscharow's Materialien zur Mineralogie Russlands*, III, 43.)

Cristaux provenant de Beresowsk et formés d'une couche extérieure de vanadiate de plomb entourant un noyau de pyromorphite verte.

PbCl	PbO	V_0^3	PhO^5	Fe^2O^3 et Cr^2O^3
9,60	71,13	15,92	2,92	0,43

Contrairement à l'opinion de Kenngott, qui admet l'existence d'un acide vanadique VO^5 différent de VO^3, Struve pense que la formule de ce dernier doit être changée en VO^5 et l'équivalent du vanadium modifié en conséquence.

Sur l'uranophane; par WEBSKY.

(*Zeitschr. d. deutschen geolog. Gesellch.*, XI, Jahrg., p. 384.)

Masses compactes, vert jaune ou vert noirâtre, se montrant cristallines au microscope, et renfermant dans leurs cavités de petits prismes rhomboïdaux de 54° et de 146°. Dureté, inférieure à 3. Densité, 2,6, 2,7. Poussière jaune clair. Fond difficilement sur les bords en verre noir. Est attaqué par les acides sulfurique et chlorhydrique.

Analyses par Grundmann; la substance employée pour l'analyse 2 était mélangée de pechblende.

	HO.	SiO^3	Al^2O^3	U^2O^3	CaO	MgO	KO	PlO^3	Bi
1.	14,11	15,81	5,65	49,84	4,69	1,35	1,71	0,12	1,73
2.	12,19	11,19	2,80	54,23 (*)	3,58	1,19	0,80	0,05	1,77

	Sb.	Te	Fe	Pb	Cu (**)	Ag	S	Total.
	1,46	0,43	0,57	0,29	0,21	0,11	1,66	99,74
	1,86	0,22	0,89	0,38	5,24	?	3,96	100,34

(*) Avec U^3O^4. (**) Avec CuO.

En déduisant des nombres de l'analyse 1 : 0,81 de pyrite cuivreuse, 0,13 d'argent sulfuré, 0,28 de covelline, 0,33 de plomb sulfuré, 1,21 de pyrite, 1,19 de bismuth telluré, 1,29 de bismuth sulfuré et 0,02 de soufre, l'auteur arrive à établir la formule problématique que voici :

$$3(2RO, Si^2O^3) + 5(2R^2O^3, SiO^3) + 36HO.$$

L'uranophane se trouve dans les mines de cuivre de Kupferberg en Silésie.

Sur l'alisonite; par FIELD.

(*Sillim. Amer. Journ.* [2], t. XXVII, p. 387.)

Substance compacte, à cassure subconchoïde, d'un bleu indigo foncé sur les surfaces fraîches, trouvée à Mina-Grande, près de Coquimbo (Chili).

Cu	Pb.	S	total.
53,63	28,25	17,00	98,88

Sur l'homichline; par BREITHAUPT.

(*Berg. und Hüttenmänn. Zeitung*, 1858, 385, 424; 1859, 65, 321.)

Minéral très-voisin de la pyrite cuivreuse, formant à Plauen (Voigtland), avec du cuivre hydro-silicaté ferrifère et de la malachiste, un filon dans une amphibolite.

Dureté, 4,5. Densité, 4,472, 4,480. Cristallise dans le type du prisme à base carrée, mais se trouve le plus souvent en masses compactes.

Analyse par Richter :

Fe	Cu	S
25,81	43,76	30,21

d'où l'on a déduit la formule :

$$3Cu^2S, Fe^2S^3 + 2FeS.$$

Sur la whitneyite; par F. A. GENTH.

(*Sillim. Amer. Journ.* [2], t. XXVII, p. 400.)

Minéral cristallin à structure grenue, d'un éclat métallique, d'une couleur blanc rougeâtre, prenant facilement le poli,

mais brunissant à la surface. Un peu ductile. Fond au chalumeau en donnant des fumées arsénicales. Insoluble dans l'acide chlorhydrique. Dureté, 3,5. Densité, 8,408.

Cu	As	Ag et matières insolubles.
88,07	11,81	0,33

Ces nombres s'accordent avec la formule $Cu^{18}As$.

A été trouvé, en une masse pesant 20 kilogrammes, dans la mine de Pewabie, comté de Houghtan (Michigan).

Analyse du tellure plumbo-aurifère de Nagyag; par S. J. KAPPEL.

(*Vierteljahrsschr. fur Pharm.*, VIII, 345.)

S	Au	Te	Se	Ag	Pb.
8,56	12,75	15,11	1,66	1,82	60,10

Sur la forme cristalline de la gadolinite; par A. E. NORDENSKIÖLD.

(*Oefversigt. af. k. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar*, 1859, 407, 287.)

D'après l'examen fait par Nordenskiöld de quelques cristaux de gadolinite, la forme primitive de ce minéral est un prisme rhomboïdal droit dont les axes sont dans les rapports :

1 : 0,6249 : 1,3780.

Angles :	b^1 sur b^1, arêtes culminantes,	120°43′	et	75°20′
	b^1 sur b^1, arêtes latérales. . .	137 48		
	M sur M	116 0		
	P sur e^1	109 57		
	P sur e^2	124 58		
	P sur e^4	145 26		

Sur le dépôt successif des carbonates isomorphes dans les filons de fer carbonaté de Lobenstein (Reuss); par LUBOLDT.

(*Journ. für prakt. Chem.*, t. LXXVII, p. 345.)

Le fer carbonaté est déposé immédiatement sur la roche encaissante qui est une grauwacke schisteuse. L'intérieur du filon est formé d'ankérite.

Sur un échantillon, on remarque d'abord le fer carbonaté (densité, 3,901, analyse 1), puis de l'ankérite; une couche mince de pyrite; de la chaux carbonatée ferrifère (densité, 2,805, analyse 2), et enfin de la chaux carbonatée pure (densité, 2,712).

	FeO,CO^2	MnO,CO^2	MgO,CO^2	CaO,CO^2
1.	87,90	5,15	5,85	0,60
2.	3,23	1,40	0,22	95,01

Sur un nouveau gisement de Martite; par DEWALQUE.

(*Institut*, 1859, p. 330.)

A Frassem, dans les environs d'Arlon (Luxembourg), on a trouvé de petits octaèdres de peroxyde de fer, garnissant les fentes d'un grès. Les octaèdres sont réguliers, noirs et mats. Leur poussière est rouge. Ils n'offrent pas de clivage. Densité, 4,55. Dureté, 7,5.

Ils sont composés de peroxyde de fer, avec 0,33 de silice, 0,37 d'alumine, traces de magnésie et de chaux et 0,2 de soufre. La présence du soufre conduit l'auteur à supposer qu'ils proviennent de l'altération de cristaux de pyrite.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE
ET DES TRAVAUX PUBLICS.

DIRECTION GÉNÉRALE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS DE FER.

BUREAU DE STATISTIQUE.

CHEMINS DE FER FRANÇAIS.

SITUATION APPROXIMATIVE AU 31 DÉCEMBRE 1860.

CHEMINS DE FER FRANÇAIS. — SITUATION AU 31 DÉCEMBRE 1860.

RÉSUMÉ.

DÉSIGNATION DES LIGNES.	ANCIEN RÉSEAU. Longueur			NOUVEAU RÉSEAU. Longueur				ANCIEN ET NOUVEAU RÉSEAU. Longueur totale.				
	livrée à l'exploitation.	en construction ou à construire.	totale.	livrée à l'exploitation.	en construction ou à construire.	concédée éventuellement.	totale.	CONCESSIONS DÉFINITIVES : livrée à l'exploitation.	en construction ou à construire.	Ensemble.	Concessions éventuelles.	Total.
Chemins concédés.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.
1. Nord	967	»	967	38	374	200	612	1.005	374	1.379	200	1.579
2. Est	952(1)	23	975	890	413	60	1.363	1.842	436	2.278	60	2.338
3. Ouest	1.194	»	1.194	18	1.110	»	1.128	1.212	1.892	2.322	»	2.322
4. Orléans	1.464(2)	301	1.765	460	999	700	2.159	1.924	1.110	3.924	700	3.924
5. Paris-Méditerranée	1.632(3)	199	1.831	675(4)	1.341	589	2.605	2.307	1.540	3.847	589	4.436
6. Midi	796	1	797	99	643	91	833	895	644	1.539	91	1.630
7. Victor-Emmanuel	106	30	136	»	»	»	»	106	30	136	»	136
8. Ligne du Chablais	»	48	48	»	»	»	»	»	48	48	»	48
9. Ceinture	17	»	17	»	»	»	»	17	»	17	»	17
10. Graissessac à Béziers	51	»	51	»	»	»	»	51	»	51	»	51
11. Bessèges à Alais	32	»	32	»	»	»	»	32	»	32	»	32
12. Anzin à Somain	19	»	19	»	»	»	»	19	»	19	»	19
13. Carmaux à Albi	15	»	15	»	»	»	»	15	»	15	»	15
14. Chauny à Saint-Gobain	15	»	15	»	»	»	»	15	»	15	»	15
15. Bordeaux au Verdon	»	100	100	»	»	»	»	»	100	100	»	100
16. Lyon à la Croix-Rousse	»	1	1	»	»	»	»	»	1	1	»	1
Totaux	7.260	703	7.963	2.180	4.880	1 640	8.700	9.440	5.583	15.023	1.640	16.663
Chemins décrétés	»	370	370	»	»	»	»	»	370	370	»	370
Totaux généraux	7.260	1.073	8.333	2.180	4.880	1.640	8.700	9.440	5.953	15.393	1.640	17.033
Chemins industriels	»	»	»	»	»	»	»	79	64	143	»	143

(1) Non compris 2 kilomètres de la frontière suisse à Bâle.
(2) Non compris la section de Juvisy à Corbeil (12 kilomètres).
(3) Non compris 16 kilomètres de la frontière suisse à Genève.
(4) Y compris la section de Juvisy à Corbeil (12 kilomètres).

LIGNES. DÉSIGNATION.	Longueur concédée.	DÉSIGNATION DES SECTIONS PAR LIGNE.	SECTIONS livrées à l'exploitation.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : en construction.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : à construire.
	kil.		k.	k.	k.
NORD.					
ANCIEN RÉSEAU.					
Paris à la frontière (par Lille)	288	Paris à Saint-Denis	6	»	»
		Saint-Denis à Creil (par Pontoise)	61	»	»
		Creil à Amiens	80	»	»
		Raccordement à Amiens	2	»	»
		Amiens (bifurcation) à Arras	65	»	»
		Arras à Douai	26	»	»
		Douai à Lille	33	»	»
		Raccordement à Lille	1	»	»
		Lille (bifurcation) à la frontière belge (1)	14	»	»
Douai à la frontière (par Valenciennes)	48	Raccordement à Douai	2	»	»
		Douai (bifurcation) à Somain	14	»	»
		Somain à Valenciennes	20	»	»
		Valenciennes (bifurc.) à la frontière belge (2)	12	»	»
Creil à Beauvais	37		37	»	»
Lille à Calais	105	Lille (bifurc. près Fives) à Hazebrouck	43	»	»
		Hazebrouck à Calais	62	»	»
Hazebrouck à Dunkerque	37	Hazebrouck (bifurcation) à Dunkerque	39	»	»
Amiens à Boulogne	125	Amiens à Noyelles	58	»	»
		Noyelles à Boulogne	65	»	»
Noyelles à Saint-Valery	6		6	»	»
Creil à Erquelines	139	Creil (bifurcation) à Tergnier	80	»	»
		Tergnier à Saint-Quentin	22	»	»
		Saint-Quentin à Busigny	27	»	»
		Busigny à Hautmont	44	»	»
		Hautmont à la frontière belge (3)	16	»	»
Somain à Busigny	49	Somain (bifurcation) à Cambrai	25	»	»
		Cambrai à Busigny	24	»	»
Tergnier à Laon	29	Tergnier (bifurcation) à Laon	28(4)	»	»
		Raccordement vers Chauny	1	»	»
A reporter	913		913	»	»

(1) Par Tourcoing. (2) Par Blanc-Misseron. (3) Par Jeumont. (4) Y compris 0k,5 au delà de la gare de Laon exploités par la Cie des Ardennes.

LIGNES. DÉSIGNATION.	Longueur concédée.	DÉSIGNATION DES SECTIONS PAR LIGNE.	SECTIONS livrées à l'exploitation.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : en construction.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : à construire.
	k.		k.	k.	k.
Report. . .	913	. . . . .	913	»	»
NORD. — ANCIEN RÉSEAU (suite).					
Saint-Denis à Creil (par Louvres).	43	Saint-Denis (bifurcation) à Creil (bifurcation). .	43	»	»
		Hautmont à la frontière belge (2).	9	»	»
		Embranchement sur la Sambre.	1	»	»
Hautmont à la frontière.	11	Raccordement de Maubeuge.	1	»	»
Totaux.	967	. . . . .	967	»	»
NOUVEAU RÉSEAU.					
Concessions définitives.					
		Paris (bifurcation) à Sevran	14	»	»
		Sevran à Dammartin.	»	16	»
Paris à Soissons	99	Dammartin à Villers-Cotterets.	»	44	»
		Villers-Cotterets à Soissons.	»	25	»
Boulogne à Calais (par Marquise).	43	. . . . .	»	43	»
Rouen à Amiens	81 (2)	. . . . .	»	»	81
Amiens à Menessis.	77	. . . . .	»	»	77
		Hazebrouck à Béthune.	»	»	33
Hazebrouck vers Arras.	69	Béthune à Lens.	»	»	18
		Lens à Arras.	»	18	»
Embranchement de Lens	16	Lens (bifurcation) à Ostricourt et raccordement.	16 (3)	»	»
Chantilly à Senlis.	11	. . . . .	»	»	»
Embranchement de Pontoise.	3	Saint-Ouen-l'Aumône à Pontoise.	»	3	»
		Ligne principale.	»	»	5
Ermont à Argenteuil	5	Raccordement vers Enghien.			
Villers-Cotterets au Port-aux-Perches.	8 (4)	. . . . .	8	»	»
Totaux.	412	. . . . .	38	149	225
				374	
Concessions éventuelles.					
Soissons à la frontière par Laon.	103	. . . . .	»	»	103
Busigny à Hirson.	43	. . . . .	»	»	43
Senlis à la ligne de Soissons.	24	. . . . .	»	»	24
Beauvais vers Gournay.	30	. . . . .	»	»	30
Totaux.	200	. . . . .	»	»	200
RÉCAPITULATION.					
Ancien réseau.	967	. . . . .	967	»	»
Nouveau réseau. { Concessions définitives.	412	. . . . .	38	149	225
Nouveau réseau. { Concessions éventuelles.	200	. . . . .	»	»	200
Totaux généraux.	1.579	. . . . .	1.005	149	425
				574	

EST.

ANCIEN RÉSEAU.					
		Paris à Noisy.	9	»	»
		Noisy à Epernay.	132	»	»
		Epernay à Châlons	31	»	»
		Châlons à Blesme.	45	»	»
		Blesme à Frouard.	127	»	»
Paris à Strasbourg et à Kehl.	511	Frouard à Nancy.	8	»	»
		Nancy à Blainville.	23	»	»
		Blainville à Vendenheim.	117	»	»
		Vendenheim à Strasbourg.	10	»	»
		Raccordement à Strasbourg.	1	»	»
		Strasbourg au Rhin (frontière).	»	8	»
Epernay à Reims.	30	Epernay (bifurcation) à Reims.	30	»	»
Chemin du camp de Châlons.	25	Châlons (bifurcation) à Mourmelon.	25	»	»
Paris à Vincennes (prolongement et raccordement).	19	Paris à la Varenne-Saint-Maur	17	»	»
		Raccordement avec la ligne de Mulhouse.	»	»	2
		Raccordement avec le chemin de Ceinture.			
A reporter.	585	. . . . .	575	8	2

(1) Par Feignies.
(2) Ce chiffre représente les deux tiers de la longueur totale, l'autre tiers étant concédé à la compagnie de l'Ouest.
(3) Ouvert pour le service des houilles.
(4) Consacré à un service spécial.

LIGNES. DÉSIGNATION.	Longueur concédée.	DÉSIGNATION DES SECTIONS PAR LIGNE.	SECTIONS livrées à l'exploitation.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : en construction.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : à construire.
	k.		k.	k.	k.
Report. . . .	585	. . . . .	575	8	2
EST (suite).		Nancy à Frouard (bifurcation)	» (1)	»	»
		Frouard (bifurcation) à Metz.	48	»	»
Nancy à Forbach.	122 (2)	Raccordement à Metz	1	»	»
		Metz (bifurcation) à Forbach.	69	»	»
		Forbach à la frontière prussienne (3).	4	»	»
Metz à Thionville.	30	Metz (bifurcation) à Thionville.	30	»	»
Thionville à la frontière.	16	. . . . .	16	»	»
		Strasbourg à Vendenheim bifurcation).	» (4)	»	»
Strasbourg à Wissembourg	57 (5)	Vendenheim (bifurcation) à Wissembourg. . . .	56	»	»
		Wissembourg (bifurc.) à la frontière bavaroise.	1	»	»
		Strasbourg (bifurcation) à Lutterbach.	103	»	»
Strasbourg à Bâle.	138 (6)	Lutterbach à Mulhouse.	6	»	»
		Mulhouse à la frontière.	29	»	»
		Mulhouse à Lutterbach (bifurcation)	» (7)	»	»
Mulhouse à Thann	14 (8)	Lutterbach (bifurcation) à Thann.	1 »	»	»
Thann à Wesserling	13	. . . . .	»	»	13
Totaux.	975	. . . . .	952	8	15
				33	
NOUVEAU RÉSEAU.					
		Paris à Noisy (bifurcation).	» (9)	»	»
Concessions définitives.		Noisy (bifurcation) à Nogent-sur-Marne.	7	»	»
		Nogent-sur-Marne à Nangis.	53	»	»
		Nangis à Flamboin.	26	»	»
		Flamboin à Troyes	71	»	»
		Troyes à Chaumont.	96	»	»
Paris à Mulhouse.	481 (10)	Chaumont à Langres	35	»	»
		Langres à Chalindrey.	11	»	»
		Chalindrey à Faverney.	53	»	»
		Faverney à Vesoul	20	»	»
		Vesoul à Belfort.	62	»	»
		Belfort à Dannemarie.	22	»	»
		Dannemarie à Mulhouse (bifurcation).	»	»	»
Embranchements de Provins et des Ormes. . . .	10	Morteel à Calais	»	14	»
Embranchement de Montereau	28	Longueville à Provins	7	»	»
Troyes à Bar-sur-Seine.	29	Chalmaison aux Ormes.	»	»	3
		Flamboin (bifurcation) à Montereau (bifurc.). .	28	»	»
		. . . . .	»	»	29
		Blesme (bifurcation) à Donjeux.	55	»	»
Blesme à Gray.	131 (12)	Donjeux à Chaumont (bifurcation).	31	»	»
		Chaumont bifurcation) à Chalindrey (bifurc.). .	» (11)	»	»
		Chalindrey (bifurcation) à Gray.	45	»	»
		Nancy (bifurcation) à Blainville (bifurcation). .	» (13)	»	»
		Blainville (bifurcation) à Epinal.	50	»	»
Nancy à Gray.	175 (15)	Epinal à Aillevillers-Plombières	»	»	43
		Aillevillers à Faverney (bifurcation).	29	»	»
		Faverney (bifurcation) à Vesoul.	» (14)	»	»
		Vesoul à Gray.	»	»	53
Reims à Charleville.	36	Reims (bifurcation) à Rethel.	38	»	»
		Rethel à Charleville Mézières).	48	»	»
Mézières à Sédan.	19	Charleville (bifurcation) à Donchery.	14	»	»
		Raccordement à Mohon.	1	»	»
		Donchery à Sedan.	4	»	»
Charleville à la frontière (par Givet).	66	Charleville à Nouzon.	7	»	»
		Nouzon à la frontière.	»	59	»
A reporter.	1.058	. . . . .	831	92	128

(1) 9 kilom. portés ci-dessus à la ligne de Paris à Strasbourg.
(2) Total ci-contre. 122
Section commune à la ligne de Strasbourg. 9
Longueur totale de la ligne de Hongrie à Forbach 131
(3) Exploité par la Prusse.
(4) 11 kilom. portés ci-dessus à la ligne de Paris à Strasbourg.
(5) Total ci-contre. 57
Section commune avec la ligne de Strasbourg. 11
Longr totale de la ligne de Strasbourg à Wissembourg. . 68
(6) Non compris 2 kilom. de la frontière à Bâle.
(7) 6 kilom. portés ci dessus à la ligne de Strasbourg à Bâle.
(8) Total ci-contre 14
Section commune avec la ligne de Strasbourg à Bâle. . 6
Longr totale de la ligne de Mulhouse à Thann 20

(9) 9 kilom. portés ci-dessus à la ligne de Paris à Strasbourg.
(10) Total ci-contre. 481
Section commune avec la ligne de Paris à Strasbourg. . . 9
Longr totale de la ligne de Paris à Mulhouse. 490
(11) 49 kilom. portés ci-dessus à la ligne de Paris à Mulhouse.
(12) Total ci-contre. 131
Section commune avec la ligne de Mulhouse 49
Longr totale de la ligne de Blesme à Gray. 160
(13) 23 kilom. portés à la ligne de Paris à Strasbourg.
(14) 20 kilom portés ci-dessus à la ligne de Mulhouse.
(15) Total ci-contre. 175
Sections communes avec les lignes de Paris à Strasbourg et de Mulhouse. 43
Longr totale de la ligne de Nancy à Gray. 218

LIGNES. DÉSIGNATION.	Longueur concédée.	DÉSIGNATION DES SECTIONS PAR LIGNE.	SECTIONS livrées à l'exploitation.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : en construction.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : à construire.
	k.		k.	k.	k.
EST (suite). *Report*. . . .	1.058	. . . . .	831	92	128
Sédan vers Thionville	117	Sédan à Longuyon.	»	70	»
		Longuyon à la ligne de Thionville.	»	47	»
Embranchement sur la frontière (par Longwy)..	21	Longuyon à Arlon.	»	»	21
Reims à Soissons	55	Reims à Fismes.	»	27	»
		Fismes à Soissons.	»	28	»
Reims à Laon.	52	Reims à la ligne de Laon.	52	»	»
Total.	1.303	. . . . .	890	264	149
				413	
Concessions éventuelles.					
Mézières à Hirson.	»	. . . . .	»	»	60
RÉCAPITULATION.					
Ancien réseau.	975	. . . . .	952	8	15
Nouveau réseau. { Concessions définitives	1.303	. . . . .	890	264	149
{ Concessions éventuelles.	60	. . . . .	»	»	60
Totaux généraux.	2.303 (1)	. . . . .	1.842 (1)	272	224
				496	

OUEST.

ANCIEN RÉSEAU.					
Paris à Saint-Germain.	20	Paris à Asnières.	4	»	»
		Asnières à Colombes (bifurcation).	4	»	»
		Colombes (bifurcation) à Saint-Germain.	12	»	»
Asnières à Argenteuil.	4	Asnières (bifurcation) à Argenteuil.	4	»	»
Batignolles à Auteuil.	7	Paris-Asnières (bifurcation) à Auteuil.	7	»	»
Paris à Versailles (rive gauche).	17	Paris (Montparnasse) à Viroflay (rive gauche).	14	»	»
		Viroflay (rive gauche) à Versailles (rive gauche).	3	»	»
		Paris à Colombes (bifurcation).	» (2)	»	»
		Colombes (bifurcation) à Mantes	47	»	»
Paris à Rouen.	133 (3)	Mantes à Tourville	68	»	»
		Tourville à Sotteville.	10	»	»
		Sotteville à Rouen (rive droite).	6	»	»
		Sotteville (bifurcation) à Rouen (rive gauche). .	2	»	»
		Rouen (rive droite) à Malaunay.	9	»	»
Rouen au Havre.	88	Malaunay à Beuzeville.	53	»	»
		Beuzeville au Havre	26	»	»
Malaunay à Dieppe.	50	Malaunay (bifurcation) à Dieppe	50	»	»
Beuzeville à Fécamp.	20	Beuzeville (bifurcation) à Fécamp.	20	»	»
		Paris (Montparnasse) à Viroflay (rive g., bifurc.)	» (6)	»	»
		Viroflay (rive gauche, bifurcation) à Chartres. .	73	»	»
Versailles à Rennes.	359 (7)	Chartres au Mans.	124	»	»
		Le Mans à Laval	89	»	»
		Laval à Rennes	73	»	»
Raccordement de Viroflay.	2	Viroflay (rive droite) à Viroflay (rive gauche). .	2	»	»
		Paris à Mantes (bifurcation).	» (8)	»	»
		Mantes (bifurcation) à Serquigny.	92	»	»
		Serquigny à Lisieux.	41	»	»
Mantes à Cherbourg.	313 (9)	Lisieux à Mézidon.	26	»	»
		Mézidon à Caen.	23	»	»
		Caen à Lison.	56	»	»
		Lison à Valognes	47	»	»
		Valognes à Cherbourg	28	»	»
Embranchement de Saint-Lô.		Lison (bifurcation) à Saint-Lô.	18	»	»
A reporter.	1.049	. . . . .	1.049	»	»

(1) Non compris 2 kilom. de la frontière à Bâle.

(2) 5 kilom. déjà portés à la ligne de Paris à Saint-Germain.

(3) Total ci-contre 18
Section commune avec la ligne de Rouen. 5
Longueur totale de la ligne de Versailles (rive droite).. . 23

(4) 8 kilom. déjà portés à la ligne de Paris à Saint-Germain.

(5) Total ci-contre. 133
Section commune avec la ligne de Saint-Germain. . . . 8
Longueur totale de la ligne de Paris à Rouen 141

(6) 14 kilom. déjà portés à la ligne de Versailles (rive gauche).

(7) Total ci-contre. 359
Section commune avec la ligne de Versailles (rive gauche) 14
Longueur totale de la ligne de Rennes.. 373

(8) 57 kilom. portés ci dessus aux lignes de Saint-Germain et de Paris à Rouen.

(9) Total ci-contre. 313
Sections communes avec les lignes de Saint-Germain et Paris à Rouen. 57
Longueur totale de la ligne de Cherbourg. 370

LIGNES. DÉSIGNATION.	Longueur concédée.	DÉSIGNATION DES SECTIONS PAR LIGNE.	SECTIONS livrées à l'exploitation.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : en construction.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : à construire.
	k.		k.	k.	k.
Report. . . .	1.049	. . . . .	1.049	»	»
OUEST (suite).					
Le Mans à Mézidon.	138	Le Mans (bifurcation) à Alençon.	52	»	»
		Alençon à Séez.	20	»	»
		Séez à Argentan	23	»	»
		Argentan à Mézidon.	43	»	»
Embranchement de Falaise	7	Coulibœuf à Falaise.	7	»	»
Totaux.	1.194	. . . . .	1.194	»	»
NOUVEAU RÉSEAU.					
Concessions définitives.					
Serquigny à Rouen.	57	Serquigny à Tourville.	»	»	57
Lisieux à Honfleur	44	Lisieux (bifurcation) à Pont-l'Evêque	18	»	»
		Pont-l'Evêque à Honfleur.	»	26	»
Saint-Cyr à Surdon.	160	Saint-Cyr à Dreux	»	60	»
		Dreux à Surdon.	»	»	100
Argentan à Granville.	133	Argentan à Granville (par Vire).	»	»	133
Rennes à Brest.	252	Rennes à Montauban.	»	32	»
		Montauban à Guingamp.	»	104	»
		Guingamp à Brest.	»	116	»
Rennes à Redon.	83	. . . . .	»	83	»
Rennes à Saint-Malo	80	. . . . .	»	80	»
Le Mans à Angers.	97	. . . . .	»	97	»
Rouen à Amiens (pour un tiers) (1).	41	. . . . .	»	»	41
		Paris à Argenteuil (rive gauche)	» (2)	»	1
Paris à Dieppe (par Pontoise et Gisors).	141 (3)	Argenteuil (rive gauche) à Argenteuil (rive d.).	»	»	»
		Argenteuil (rive droite) à Epinay	»	»	» (3)
L'Aigle à Cherbourg.	25	. . . . .	»	»	512
Totaux.	1.128	. . . . .	18	598	512
				1.110	
RÉCAPITULATION.					
Ancien réseau.	1.194	. . . . .	1.194	»	»
Nouveau réseau. Concessions définitives.	1.128	. . . . .	18	598	512
Totaux généraux.	2.322	. . . . .	1.212	598	512
				1.110	

ORLÉANS.

ANCIEN RÉSEAU.					
Paris à Orléans.	121	Paris à Juvisy.	19	»	»
		Juvisy à Orléans..	102	»	»
Orléans à Tours.	115	Raccordement à Orléans.	1	»	»
		Orléans (bifurcation) à Tours.	114	»	»
		Raccordement à Tours.	1	»	»
		Tours (bifurcation) à Poitiers	100	»	»
Tours à Bordeaux	347	Poitiers à Angoulême..	113	»	»
		Angoulême à Coutras.	82	»	»
		Coutras à Bordeaux	51	»	»
		Poitiers à Saint-Benoît (bifurcation).	» (6)	»	»
		Saint-Benoît (bifurcation) à Niort.	74	»	»
Poitiers à la Rochelle et à Rochefort.	157 (2)	Niort à Aigrefeuille.	49	»	»
		Aigrefeuille à la Rochelle..	17	»	»
		Aigrefeuille (bifurcation) à Rochefort.	16	»	»
		Raccordement à Aigrefeuille.	1	»	»
A reporter. . . .	740	. . . . .	740	»	»

(1) Les deux tiers restant sont concédés à la compagnie du Nord.
(2) 9 k. déjà portés aux lignes de Paris à St-Germain et d'Argenteuil.
(3) 5 kilom. empruntés à la ligne du Nord.
(4) 16 kilom. empruntés à la ligne du Nord.
(5) Total ci-contre. 141
Sections communes avec les lignes de Paris à Saint-Germain, d'Argenteuil et du Nord 30
Longueur totale de la ligne de Dieppe (par Gisors). . . . 171

(6) 4 kilom. portés ci-dessus à la ligne de Tours à Bordeaux (section de Poitiers à Angoulême).
(7) Total ci-contre. 157
Section commune avec la ligne de Bordeaux. 4
Longueur totale de la ligne de Poitiers à la Rochelle et à Rochefort 161

LIGNES — DÉSIGNATION.	Longueur concédée.	DÉSIGNATION DES SECTIONS PAR LIGNE.	SECTIONS livrées à l'exploitation.	SECTIONS non livrées à l'exploitation — en construction.	SECTIONS non livrées à l'exploitation — à construire.
ORLÉANS (suite).	k.		k.	k.	k.
Report.	700	. . . . .	700	»	»
Raccordements des lignes d'Orléans et du Midi (à Bordeaux) pour un demi.	3	Raccordement des gares.	2	»	»
		Raccordement des lignes.	»	1	»
Tours à Nantes.	195	Raccordement à Tours.	1	»	»
		Tours (bifurcation) à Angers	107	»	»
Nantes à Saint-Nazaire.	64	Angers à Nantes.	87	»	»
		. . . . .	64	»	»
		Raccordement à Orléans.	1	»	»
		Orléans (bifurcation) à Vierzon.	80	»	»
Orléans au Guétin.	172	Vierzon à Bourges.	32	»	»
		Bourges au Guétin.	57	»	»
		Le Guétin au chemin du Bourbonnais.	2 (1)	»	»
		Vierzon (bifurcation) à Châteauroux.	60	»	»
Vierzon à Limoges.	197	Châteauroux à Argenton.	31	»	»
		Argenton à Limoges.	106	»	»
Tours au Mans.	94	Tours (bifurcation) au Mans (bifurcation). . . .	94	»	»
		Savenay à Redon.	»	41	»
		Redon à Vannes	»	55	»
Savenay à Châteaulin.	250	Vannes à Auray.	»	19	»
		Auray à Lorient.	»	45	»
		Lorient à Quimper	»	»	»
		Quimper à Châteaulin	»	»	»
Embranchement de Napoléonville	50	Auray à Napoléonville	»	»	»
Totaux.	1.765	. . . . .	1.765	161	»
				301	
NOUVEAU RÉSEAU.					
Concessions définitives.					
Montluçon à Montlu[illegible] et embranchement sur [illegible]	[illegible]	Montluçon à la Prade	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Limoges à Agen.	239 (3)	Limoges à Thiviers	»	62	»
		Thiviers à Périgueux.	»	36	»
		Périgueux à Niversac.	»	» (2)	»
		Niversac à Agen.	»	»	141
Coutras à Périgueux	75	Coutras (bifurcation) à Périgueux.	75	»	»
		Montauban au Lot (Capdenac).	131	»	»
		Du Lot (Capdenac) à Viviers.	15	»	»
Montauban au Lot et embranchement sur Rodez et Décazeville.	200	Viviers à Saint-Christophe.	21	»	»
		Saint-Christophe à Marcillac.	7	»	»
		Marcillac à Rodez.	22	»	»
		Viviers (bifurcation) à Décazeville.	4	»	»
		Arvant à Lempdes.	»	»	»
		Lempdes à Massiac.	»	19	»
		Massiac à Murat.	»	»	35
Arvant au Lot.	187	Murat à Aurillac.	»	»	55
		Aurillac à Assier (4).	»	»	51
		Assier au Lot (Capdenac).	»	22	»
		Périgueux à Niversac.	11	»	»
Périgueux à la Capelle.	145	Niversac à Brives.	81	»	»
		Brives à Assier (4).	»	73	»
		Paris à Seeaux.	11	»	»
Paris à Orsay	25	Bourg-la-Reine (bifurcation) à Orsay.	14	»	»
Paris à Tours par ou près Châteaudun et Vendôme.	205	. . . . .	»	»	»
Nantes à Napoléon-Vendée	67	. . . . .	»	»	67
Bourges à Montluçon.	103	. . . . .	»	»	100
Toulouse à Albi et à la ligne du Lot.	128	. . . . .	»	»	128
Totaux.	1.459	. . . . .	460	217	172
				999	
Concessions éventuelles.					
Tours à Vierzon.	105	. . . . .	»	»	105
Orléans à la ligne du Bourbonnais	64	. . . . .	»	»	64
Montluçon à la ligne de Limoges.	100	. . . . .	»	»	100
Poitiers à la ligne de Limoges.	106	. . . . .	»	»	106
A reporter.	375	. . . . .	»	»	375

(3) Total ci-contre. 239
Section commune avec la ligne de Périgueux à la Capelle. 11
Longueur totale de la ligne de Limoges à Agen. 250

(1) Exploité par la compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
(2) 11 kilom. portés ci-après à la ligne de Périgueux à la Capelle.
(4) A 6 kilom. de la Capelle-Marival.

LIGNES. DÉSIGNATION.	Longueur concédée.	DÉSIGNATION DES SECTIONS PAR LIGNE.	SECTIONS livrées à l'exploitation.	SECTIONS non livrées à l'exploitation en construction.	SECTIONS non livrées à l'exploitation à construire.
ORLÉANS (suite).	k.		k.	k.	k.
Report. . . .	375	. . . . .	375	»	»
Angers à Niort	140	. . . . .	»	»	140
Limoges à Brives.	65	. . . . .	»	»	65
Embranchement sur Cahors.	48	. . . . .	»	»	48
Id. sur Villeneuve-d'Agen.	10	. . . . .	»	»	10
Id. sur Bergerac.	30	. . . . .	»	»	30
Id. sur Tulle.	32	. . . . .	»	»	32
Totaux.	700	. . . . .	»	»	700
RÉCAPITULATION.					
Ancien réseau.	1.765	. . . . .	1.464	161	140
Nouveau réseau. { Concessions définitives	1.459	. . . . .	460	217	782
Nouveau réseau. { Concessions éventuelles.	700	. . . . .	»	»	700
Totaux généraux.	3.924	. . . . .	1.924 (1	378	1.629
				2.000	

PARIS A LYON ET A LA MÉDITERRANÉE.

ANCIEN RÉSEAU.					
		Paris à Moret.	68	»	»
		Moret à Montereau.	11	»	»
		Montereau à la Roche.	76	»	»
		La Roche à Tonnerre.	41	»	»
Paris à Lyon	512	Tonnerre à Dijon.	118	»	»
		Dijon à Châlon (Saint-Côme).	68	»	»
		Châlon (Saint-Côme) à Mâcon.	58	»	»
		Mâcon à Lyon (Perrache).	71	»	»

		Dijon (bifurcation) à Auxonne	30	»	»
		Auxonne à Dôle.	15	»	»
Dijon à Belfort.	186	Dôle à Besançon.	45	»	»
		Besançon à Montbéliard.	78	»	»
		Montbéliard à Belfort.	18	»	»
Auxonne à Gray.	34	Auxonne (bifurcation) à Gray.	34	»	»
Dôle à Salins	38	Dôle (bifurcation) à Salins.	38	»	»
Châlon à Dôle.	65	. . . . .	»	»	65
		Bourg à Lons-le-Saulnier.	»	50	62
Bourg à la ligne de Besançon.	134	Lons-le-Saulnier à Mouchard.	»	»	»
		Mouchard à la ligne de Besançon.	»	»	22
		Lyon (Perrache) à Saint-Rambert.	61	»	»
		Raccordement de Givors.	3	»	»
		Saint-Rambert à Valence.	45	»	»
		Valence à Avignon (gare des voyageurs)	124	»	»
Lyon à Marseille.	360	Avignon à Tarascon	22	»	»
		Raccordements à Tarascon.	3	»	»
		Tarascon à Rognac.	72	»	»
		Rognac à Marseille.	27	»	»
		Embranchement de la Joliette.	3	»	»
Embranchement d'Aix	25	Rognac à Aix.	25	»	»
		Tarascon (bifurcation) à Beaucaire (voyageurs).	1	»	»
		Embt de la gare des marchandises à Beaucaire.	2	»	»
Tarascon à Cette.	107	Beaucaire (voyageurs) à Nîmes (voyageurs). . .	26	»	»
		Embt de la gare des marchandises à Nîmes. .	1	»	»
		Nîmes à Montpellier	50	»	»
		Montpellier à Cette.	27	»	»
Nîmes à la Levade.	64	Nîmes (bifurcation) à Alais	47	»	»
		Alais à la Levade.	17	»	»
Marseille à Toulon.	66	Marseille (bifurcation) à Aubagne.	16	»	»
		Aubagne à Toulon.	50	»	»
		Lyon (Guillotière, bifurcation) aux Brotteaux. .	5	»	»
Lyon à Genève	151	Les Brotteaux à Ambérieux.	45	»	»
		Ambérieux à Seyssel.	65	»	»
		Seyssel à la frontière suisse (2).	36	»	»
Embranchement de Mâcon.	68	Ambérieux (bifurcation) à Bourg	32	»	»
Embranchement de Culoz.	2	Bourg à Mâcon (bifurcation).	36	»	»
		Culoz (bifurc.) au chemin Victor-Emmanuel . .	2	»	»
Totaux.	1.831	. . . . .	1.632	50	149
				199	

(1) Non compris la section de Juvisy à Corbeil (12 kilom.) reportée au chemin de Paris à Lyon et à la Méditerranée, mais exploitée par la compagnie d'Orléans, et y compris 2 kilom. au Guétin exploités par la compagnie de Lyon.

(2) Non compris 16 kilom. de la frontière à Genève.

LIGNES — DÉSIGNATION.	Longueur concédée.	DÉSIGNATION DES SECTIONS PAR LIGNE.	SECTIONS livrées à l'exploitation.	SECTIONS non livrées à l'exploitation — en construction.	SECTIONS non livrées à l'exploitation — à construire.
	k.		k.	k.	k.
NOUVEAU RÉSEAU.					
Concessions définitives.					
Paris à Lyon par Nevers, Roanne et St-Etienne	501	Paris à Moret	» (1)	»	»
		Moret à Montargis	51	»	»
		Montargis à Briare	»	»	»
		Briare à Nevers	»	»	»
		Nevers au Guétin (bifurcation)	10	»	»
		Raccordement au Guétin	»	»	»
		Le Guétin (bifurc.) à Saint-Germain-des-Fossés	91	»	»
		Saint-Germain-des-Fossés à Roanne	66	»	»
		Traversée de Roanne	3	»	»
		Roanne (le Côteau) à Saint-Etienne	79	»	»
		Saint-Etienne à Lyon (bifurcation)	56	»	»
		Embranchement sur Andrezieux	6	»	»
		Embranchement sur Montrambert	3	»	»
Villeneuve-Saint-Georges à Montargis	106	Villeneuve-Saint-Georges à Juvisy	» (2)	»	7
		Juvisy à Corbeil	12	»	»
		Corbeil à Montargis	»	»	87
Roanne à Lyon (par Tarare)	80		»	»	80
Embranchement de Vichy	9		»	»	9
Saint-Germain-des-Fossés à Arvant	124	Saint-Germain-des-Fossés à Clermont	65	»	»
		Clermont à Arvant	59	»	»
		Arvant à Brioude	10	»	»
		Brioude au Puy	»	»	75
Arvant à Saint-Étienne (par le Puy)	173	Le Puy à Firminy	»	»	74
		Firminy à Saint-Étienne	14	»	»
		Neversan-Blanzy (Monteau-les-Mines)	»	»	119
Nevers et Moulins à la ligne de Châlon à Dijon	280	Blanzy à Chagny	»	46	»
		Blanzy à Moulins	»	»	115
Châtillon à la ligne de Lyon	35		»	»	35
Salins (Mouchard) à la frontière suisse (par les Verrières et Vallorbe)	90	Mouchard à Pontarlier	»	62	»
		Pontarlier à la frontière suisse (par les Verrières)	11	»	»
		Pontarlier à la frontière suisse (par Jougne)	»	»	»
Montbéliard à Delle et Audincourt	22		»	»	22
Saint-Rambert à Grenoble	91	Saint-Rambert (bifurcation) à Rives	55	»	»
		Rives à Grenoble	36	»	»
Beaucroissant à Lyon	38	Lyon (bifurcation) à Bourgoin	38	»	»
		Bourgoin à Beaucroissant (bifurcation)	»	50	»
Moirans à Valence	71		»	»	71
		Toulon à Solliès-Pont	»	16	»
		Solliès-Pont aux Arcs	»	51	»
Toulon à Nice	156	Les Arcs à Cannes	»	60	»
		Cannes au Var	»	22	»
		Le Var à Nice	»	»	7
Embranchement sur Draguignan	12		»	»	12
Embranchement de Privas et prolongement	48	Embranchement de Privas	»	32	»
		Prolongement sur Crest	»	»	16
Embranchement de Carpentras	16		»	»	16
Vesoul à Besançon	45	Vesoul (bifurcation) à Roche	»	»	45
Gray à Besançon	43	Gray (bifurcation) à Saint-Vergeux	»	»	43
Ougney à la ligne de Dôle à Besançon et prolongement	15	Ougney à Rans	10 (3)	»	»
		Rans à Fraisans	»	»	5
Ougney à la ligne de Gray à Besançon	11		»	»	11
Totaux	2.016		675	475	866
				1.341	
Concessions éventuelles.					
Brioude vers Alais	209		»	»	209
Montbrison à Andrezieux	19		»	»	19
Avignon à Gap et embranchement sur Aix et sur Miramas (par Salon)	361	Avignon à Gap	»	»	241
		Gap à la frontière sarde	»	»	70
		Embranchement sur Aix	»	»	30
Gap vers la frontière sarde		Embranchement sur Miramas	»	»	20
Totaux	589		»	»	589
RÉCAPITULATION.					
Ancien réseau	1.831		1.632	50	149
Nouveau réseau. Concessions définitives	2.016		675	475	866
Nouveau réseau. Concessions éventuelles	589		»	»	589
Totaux généraux	4.436		2.307	525	1.604
				2.129	

(1) 68 kilom. empruntés à la ligne de Paris à Lyon par la Bourgogne.
(2) Exploité par la compagnie d'Orléans.
(3) Exploités par la société des hauts fourneaux, fonderies et forges de la Franche-Comté.

LIGNES. DÉSIGNATION.	Longueur concédée.	DÉSIGNATION DES SECTIONS PAR LIGNES.	SECTIONS livrées à l'exploitation.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : en construction.	SECTIONS non livrées à l'exploitation : à construire.
	k.		k.	k.	k.
		MIDI.			
ANCIEN RÉSEAU.					
Bordeaux à Cette	480	Bordeaux à Langon	42	»	»
		Langon à Tonneins	54	»	»
		Tonneins à Agen	39	»	»
		Agen à Valence-d'Agen	26	»	»
		Valence à Castel-Sarrazin	26	»	»
		Castel-Sarrazin à Toulouse	70	»	»
		Toulouse à Carcassonne	91	»	»
		Carcassonne à Béziers	84	»	»
		Béziers à Cette	44	»	»
		Raccordement à Cette	4	»	»
Raccordements des lignes du Midi et d'Orléans (à Bordeaux) pour un demi	3	Raccordement des gares	2	»	»
		Raccordement des lignes	»	1	»
		Narbonne (bifurcation) à Rivesaltes	54	»	»
Narbonne à Perpignan	63	Rivesaltes à Perpignan	8	»	»
		Raccordement à Narbonne	1	»	»
Embranchement de la Teste et d'Arcachon	58	Bordeaux (bifurcation) à la Teste	54	»	»
		La Teste à Arcachon	4	»	»
		Lamothe (bifurcation) à Morceux	66	»	»
Lamothe à Bayonne	155	Morceux à Dax	39	»	»
		Dax à Bayonne (Saint-Esprit)	50	»	»
Embranchement de Mont-de-Marsan	38	Morceux (bifurcation) à Saint-Martin-d'Oney	25	»	»
		Saint-Martin-d'Oney à Mont-de-Marsan	13	»	»
Totaux	797		796	1	»
NOUVEAU RÉSEAU.					
Concessions définitives.					
Toulouse à Bayonne	220	Toulouse à Tarbes	»	192	»
Embranchement sur Bagnères-de-Bigorre	20		»	»	20
Ramous à Dax	28		»	»	28
Saint-Simon à Foix	70		»	70	»
Agen à Tarbes	134	Agen à Andrest	»	»	127
		Andrest à Tarbes	7	»	»
Mont-de-Marsan à Andrest	92	Mont-de-Marsan à Rische	48	»	»
		Rische à Andrest	44	»	»
Agde à Clermont	55	Agde à Pézénas	»	»	18
		Pézénas à Clermont	»	»	20
		Clermont à Lodève	»	»	17
Bayonne à Irun	35		»	»	35
Totaux	742		99	378	265
				643	
Concessions éventuelles.					
Embranchement de Castres	50		»	»	50
Perpignan à Port-Vendres	41		»	»	41
Totaux	91		»	»	91
RÉCAPITULATION.					
Ancien réseau	797		796	1	»
Nouveau réseau { Concessions définitives	742		99	378	265
Nouveau réseau { Concessions éventuelles	91		»	»	91
Totaux	1.630		898	379	356
CHEMINS DIVERS CONCÉDÉS.					
Victor-Emmanuel	136	Culoz (ancienne frontre) à St-Jean-de-Maurienne	106	30	»
		Saint-Jean-de-Maurienne à Modane	»	»	»
Ligne de Chablais	48	Saint-Gingolph à la frontière de Genève	»	»	48
Ceinture	17	Ligne principale	15	»	»
		Raccordements divers	2	»	»
Graissessac à Béziers	51		51	»	»
Bességes à Alais	32	Ligne principale	30	»	»
		Robiac à Trélys	2	»	»

LIGNES. DÉSIGNATION.	Longueur concédée.	DÉSIGNATION DES SECTIONS PAR LIGNE.	SECTIONS livrées à l'exploitation.	SECTIONS non livrées à l'exploitation — en construction.	SECTIONS non livrées à l'exploitation — à construire.
	k.		k.	k.	k.
Anzin à Somain	19		19	»	»
Carmaux à Albi	15		15	»	»
Chauny à Saint-Gobain	15		15	»	»
Bordeaux au Verdon	100	Bordeaux à Pouillac	»	»	45
		Pouillac au Verdon	»	»	55
Lyon à la Croix-Rousse	1		»	»	»
CHEMINS DÉCRÉTÉS ET DÉCLARÉS D'UTILITÉ PUBLIQUE.	**Longueur décrétée.**				
Grenoble à Montmélian	45	Grenoble à la limite des départements de l'Isère et de la Savoie	»	»	40
		De ce point à Montmélian	»	»	5
Annecy à Aix (par Rumilly)	40		»	»	40
Mayenne à Laval	20	Mayenne à la Touassière	»	»	20
Caen à Flers	65	Caen (bifurcation) à Flers	»	»	65
Epinal à Remiremont	24	Epinal (bifurcation) à Remiremont	»	»	24
Lunéville à Saint-Dié	49	Lunéville (bifurcation) à Saint-Dié	»	»	49
Strasbourg à Barr	33	Strasbourg à Molsheim	»	»	16
		Molsheim à Barr	»	»	17
Embranchement sur Mutzig	3	Molsheim à Mutzig	»	»	3
Embranchement sur Wasselonne	13	Molsheim à Wasselonne	»	»	13
Haguenau à Niederbronn et embranchement	20	Ligne principale	»	»	19
		Embranchement sur l'usine de Reischoffen	»	»	1
Ligne du Chablais	58	Collonges à Thonon	»	»	58

CHEMINS INDUSTRIELS CONCÉDÉS.	Longueur concédée.				
Mines d'Aniche à Somain	2		2	»	»
Vireux à la frontière belge	2		» (1)	»	»
Long-Rocher au canal de Loing	3		3	»	»
Epinac au canal de Bourgogne	29		29	»	»
Le Creusot au canal du Centre	10		10	»	»
Décize au canal du Nivernais	7		7	»	»
Mines du Sorbier aux lignes de Rhône-et-Loire	5		5	»	»
Mines de Roche-la-Molière *Id.*	7		»	7	»
Mines de Montieux à la Loire	1		1	»	»
Commentry au canal du Berri et prolongement	18		18	2	»
Usine de Bourdon au chemin du Bourbonnais	4		4	»	»
Gare Saint-Ouen au chemin de Ceinture	3		»	3	»
Rousies à Ferrière-la-Grande	3		3	»	»
Mines d'Auchy-aux-Bois aux houillères du Pas-de-Calais	6		»	»	6
Mines de Vendin-lès-Béthune *Id.*	1		»	»	1
Mines de Marles *Id.*	7		»	»	7
Mines de Ferfay *Id.*	6		»	»	6
Mines de Dourges *Id.*	1		»	»	1
Mines de Bruay *Id.*	7		»	»	7
Mines de Nœux *Id.*	4		»	»	4
Embranchements des mines de Lens à la ligne des houillères du Pas-de-Calais et au canal de la Haute-Deule	7		»	»	7
Mines de Chamblet à la ligne de Montluçon à Moulins	1		»	»	1
Mines de Crouret, Mazenay et Change (Creuzot) à la ligne de Moulins à Chagny et au canal du Centre	9		»	»	9
Totaux	143		79	15	49

(1) Chemin en service public, mais appartenant à une compagnie belge.

NOTE

SUR LA STATISTIQUE MINÉRALE DE L'EMPIRE D'AUTRICHE.

Par M. CALLON,

Ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

Il a été inséré dans le tome XIV de la 5e série des *Annales des mines*, année 1858, un extrait d'un document statistique relatif aux mines et à l'industrie minéralurgique de l'Autriche pour l'année 1855, document publié en 1857 par le ministère des finances de cet empire.

Une publication officielle analogue relative à l'année 1859, a paru en 1860 sous le titre de *Uebersicht der Verhältnisse und Ergebnisse des Oesterreichischen Bergbaues im Verwaltungs Jahre* 1859.

Elle permet d'apprécier d'une manière précise les modifications qui se sont produites pendant cet intervalle de quatre années dans la situation de l'industrie minérale des diverses provinces de l'empire.

C'est à ce titre qu'il a paru intéressant de faire un extrait de cette nouvelle publication.

J'ai pris soin, comme dans la notice publiée en 1858, d'exprimer toutes les quantités en mesures métriques.

J'ai conservé pour la livre de Vienne la valeur $0^k,560012$ qui détermine celle de ses multiples et sous-multiples. Pour le florin, qui se subdivise en 100 parties, et non plus comme précédemment en 60 kreutzer, j'ai admis le change de 81 florins pour 200 francs, soit $2^f,4691$ pour un florin.

Afin de faciliter les comparaisons, je ne me suis pas

borné à traduire les principaux tableaux de la publication nouvelle, mais j'ai ajouté un état récapitulatif qui donne pour les produits les plus importants de l'industrie minérale, les quantités produites, non-seulement en 1855 et en 1859, mais encore pendant chacune des trois années intermédiaires. De cette manière, on pourra suivre, en quelque sorte pas à pas, les variations survenues pendant cette période de cinq ans. J'ai emprunté les chiffres des années 1856-57 et 58 à l'intéressante publication de M. de Carnall, le *Zeitschrift für das Berg-hütten-und-Salinenwesen*.

En outre, à la suite de chacun des 56 tableaux partiels relatifs aux divers produits obtenus en 1859, j'ai reporté les chiffres correspondants de l'année 1855, tels qu'ils ont été publiés dans le tome XIV des *Annales des mines*.

On a donc à la fois sous les yeux tous les éléments qu'il peut être intéressant de rapprocher.

Le fait le plus saillant qui résulte de ces divers rapprochements, c'est que, considérée dans son ensemble et *au point de vue de la valeur produite*, l'industrie minérale n'a pas fait de progrès bien importants, la valeur produite étant de 97.798.165^{f} en 1855, et seulement de 105.028.409^{f},77 en 1859, bien que dans ce dernier chiffre figurent divers produits d'importance secondaire qui n'étaient pas compris dans l'état de 1855.

Le nombre des ouvriers a augmenté à peu près dans le même rapport que la valeur produite (100.307 ouvriers en 1855 et 105.432 en 1859).

Mais si l'on considère spécialement les produits qui jouent dans l'industrie générale d'une nation le rôle le plus important, notamment les combustibles minéraux et les métaux communs, on trouve qu'il y a eu le plus souvent une augmentation notable dans la *valeur*

créée, et plus encore dans la *quantité produite*, c'est-à-dire, en d'autres termes, *augmentation de quantité et diminution du prix de vente*.

Ainsi, par exemple, l'extraction de la houille a augmenté de 53 p. 100, celle du lignite de 44 p. 100, et en même temps les prix sur le carreau de la mine sont tombés de 10^{f},35 et de 7^{f},52 à 7^{f},54 et à 6 francs par tonne.

C'est là évidemment un progrès d'autant plus digne de remarque qu'il est dû exclusivement à l'industrie privée ; car, dans la période considérée, l'extraction des combustibles minéraux a sensiblement diminué dans les mines impériales.

Ce fait démontrerait une fois de plus, s'il en était besoin, que, dans le domaine de l'industrie, l'intervention administrative ne saurait être équivalente à l'action individuelle stimulée par l'intérêt privé.

Je ne m'arrête pas davantage sur ces comparaisons, les conséquences auxquelles elles conduisent ressortant explicitement de l'examen des états eux-mêmes.

Je me borne à signaler encore la lacune très-regrettable que présentent ces statistiques officielles au point de vue des industries du fer et de l'acier.

PROVINCES.	ARRONDISSEMENTS minéralogiques.	PRODUCTION. Mines ou usines impériales.	Mines ou usines particulières.	Ensemble.	VALEUR.	PRIX MOYEN sur le lieu de production.
1. OR.		kilog.	kilog.	kilog.	fr.	fr.
Autriche au-dessus de l'Ems	Saint-Pölten	»	0,043	0,043	148,35	
Tyrol	Hall	»	7,530	7,530	25.100,67	
Salzbourg	Hall	21,910	»	21,910	73.033,33	
Silésie	Olmütz	»	0,053	0,053	108,64	
Hongrie. Cercle de Presbourg	Neusohl	339,505	51,209	390,714	1.302.379,51	
— Cercle de Kaschau	Kaschau	11,607	1,000	12,607	42.023,33	
— Cercle de Grosswardein	Nagybanya	162,186	53,877	216,063	720.213,00	
Servie et Banat	Oravicza	»	3,782	3,782	12.604,49	
Transylvanie	Zalathna	320,361	673,547	993,908	3.313.025,97	
Confins militaires du Banat et de la Servie	Oravicza	»	0,017	0,017	56,03	
Totaux pour l'année 1859		855,569	791,058	1.646,627	5.488.693,32	3.333,33
Totaux pour l'année 1855		724,663	753,789	1.478,454	5.085.582,50	3.439,70
2. ARGENT.						
Tyrol	Hall	184,472	»	184,472	40.993,78	
Salzbourg	Hall	92,995	»	92,995	20.665,56	
Bohême	Prague	12.461,432	»	12.461,432	2.741.501,09	
	Elbogen	942,110	3,654	945,764	209.785,00	
	Brüx (Komotau)	»	3,750	3,650	833,33	
Silésie	Olmütz	»	4,692	4,692	724,94	
Hongrie. Cercle de Presbourg	Neusohl	11.655,204	67,300	11.722,504	2.580.309,53	
— Cercle de Kaschau	Kaschau	1.215,509	2.251,187	3.466,696	770.376,78	
— Cercle de Grosswardein	Nagybanya	2.657,540	679,944	3.337,484	741.663,21	
Servie et Banat	Oravicza	»	192,889	192,889	42.864,27	
Transylvanie	Zalathna	1.822,484	291,992	2.114,476	469.883,47	
Totaux pour l'année 1859		31.031,746	3.495,408	34.527,154	7.619.600,96	222,22
Totaux pour l'année 1855		30.587,798	4.428,520	35.016,318	7.907.310,45	224,60

3° FONTE D'AFFINAGE.		ton.	ton.	ton.		
Autriche inférieure	Saint-Pölten	948,936	1.875,697	2.824,633	523.859,68	
Styrie	Leoben	33.694,458	46 601,872	80.299,330	14.270.900,62	
	Cilli	»	1.597,820	1.597,820	276.156,54	
Carinthie	Klagenfurt	»	31.376,688	31.376,688	4.760.129,73	
Carniole	Laybach	»	4.827,398	4.827,398	779.417,61	
Tyrol	Hall	2.063,245	»	2.063,245	413.994,81	
Salzbourg	Hall	2.687,543	812,015	3.499,558	685.862,74	
	Prague	3.829,181	16,477,174	20.306,355	3.184.362,96	
	Elbogen	»	1.989,548	1.989,548	329.889,75	
Bohême	Brüx (Komotau)	»	665,796	665,796	141 933,33	
	Pilsen	»	6.073,252	6.073,252	1.044.125,93	
	Kuttenberg	»	4.513,457	4.513,457	847.899,63	
Moravie	Olmütz	»	22.799,408	22.799,408	3.170.326,00	
Silésie	Olmütz	»	3.257,634	3.257,634	565.037,04	
Gallicie. Cercle de Cracovie	Cracovie	»	1.686,806	1.686,806	258.916,42	
— Cercle de Lemberg	Lemberg	132,218	272,277	404,495	80.911,98	
Bukowine	Lemberg	»	2.143,326	2.143,326	378.004,94	
Hongrie. Cercle d'Ofen	Ofen	358,798	»	358.798	49.832,22	
— Cercle de Presbourg	Neusohl	5.095,923	3.308,259	8.404,182	1.482.192,59	
— Cercle de Kaschau	Kaschau	4.814,070	52.243,669	57.057,739	6.182.128,00	
— Cercle de Grosswardein	Nagybanya	»	1.443,034	1.443 034	149.125,48	
Servie et Banat	Oravicza	»	14.041,579	14.041,579	1.931.011,85	
Transylvanie	Zalathna	3.004,006	1.656,398	4.660,404	641.779,16	
Croatie et Slavonie	Agram	»	293,781	293,781	38.859,26	
Confins militaires de Croatie et de Slavonie	Agram	»	121,074	121,074	12.454,32	
Confins militaires du Banat et de la Servie	Oravicza	»	1.395,881	1.395,881	184.637,04	
Totaux pour l'année 1859		56.628,378	221.476,843	278.105,221	42.383.749,63	152,42
Totaux pour l'année 1855		46.073,064	194.400,368	240.473,372	37.661.901,00	157,90
4° FONTE DE MOULAGE.						
Autriche Inférieure	Saint-Pölten	324,414	24,808	349,222	119.559,33	
Styrie	Leoben	3.784,380	705,837	4.490,217	1.691.991,24	
	Cilli	»	3,472	3,472	566,42	
Carinthie	Klagenfurth	»	565,498	565,498	112.622,54	
Carniole	Laybach	»	1.085,355	1.085,355	347.813,93	
Tyrol	Hall	571,658	»	571,658	220.356,96	
A reporter		4.680,452	2.384,970	7.065,422	2.492 910,42	

PROVINCES.	ARRONDISSEMENTS minéralogiques.	PRODUCTION. Mines ou usines impériales.	Mines ou usines particulières.	Ensemble.	VALEUR.	PRIX MOYEN sur le lieu de production.
		ton.	ton.	ton.	fr.	fr.
Report.	. . . . .	4.680,452	2.384,970	7.065,422	2.492.910,42	
Salzbourg.	Hall.	250,492	»	250,492	87.492,10	
Bohême.	Prague.	2.277,169	4.563,633	6.840,802	1.839.908,61	
	Elbogen.	»	843,991	843,991	220.407,16	
	Brüx (Komotau).	»	162,459	162,459	42.555,56	
	Pilsen.	»	3.513,839	3.513,839	815.970,37	
	Kuttenberg. . . .	»	2.155,983	2.155,983	500.167,44	
	Olmütz.	»	5.102,139	5.102,139	1.314.931,85	
	Olmütz.	»	1.742,471	1.742,471	451.698,77	
Gallicie. Cercle de Cracovie.	Cracovie.	»	2.020,460	2.020,460	526.172,84	
— Cercle de Lemberg.	Lemberg.	176,963	321,670	498,633	126.778,59	
Bukowine.	Lemberg.	»	165,707	165,707	29.224,69	
Hongrie. Cercle d'Ofen.	Ofen.	61,265	»	61,265	13.506,17	
— Cercle de Presbourg.	Neusohl.	698,612	194,436	893,048	285.471,61	
— Cercle de Kaschau.	Kaschau.	256,989	3.272,362	3.529,351	770.493,07	
— Cercle de Groswardein.	Nagybanya. . . .	»	85,234	85,234	31.340,20	
Servie et Banat.	Oravicza.	»	2.283,272	2.283,272	479.466,79	
Transylvanie.	Zalathna.	397,999	570,706	968,705	347.561,98	
Croatie et Slavonie.	Agram.	»	60,649	60,649	14.706,17	
Confins militaires du Banat et de la Servie.	Oravicza.	»	998,386	998,386	264.118,52	
Totaux pour l'année 1859. . .	. . . . .	8.799,941	30.442,367	39.242,308	10.654.852,94	311,21
Totaux pour l'année 1855. . .	. . . . .	5.448,664	30.046,786	35.495,450	9.917.694,67	279,40
5° HOUILLE.						
Autriche inférieure.	Saint-Pölten. . . .	»	366[illegible]166	366[illegible]166	387.230,00	
Autriche supérieure.	Saint-Pölten. . . .	»	265,949	265.949	4.235,96	
Styrie (anthracite).	Leoben.	»	832,175	832,175	6.420,991	
Bohême.	Cilli.	»	1.876,761	1.876,761	18.352,25	
	Prague.	6.843,210	594.436,447	601.279,657	3.960.929,85	
	Brüx (Komotau).	—	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
	Pilsen.	—	396.[illegible]	[illegible]	[illegible]	
Bohême.	Kuttenberg. . . .	»	62.419,835	62.419,835	344.298,63	
Moravie.	Olmütz.	»	185.432,919	185.432,919	1.868.055,51	
Silésie.	Olmütz.	»	383.863,111	383.863,111	3.073.079,01	
Gallicie. Cercle de Cracovie.	Cracovie.	38.971,264	46.945,806	85.917,070	591.944,16	
Hongrie. Cercle d'Adenbourg.	Ofen.	»	134.169,604	134.169,604	938.985,58	
Servie et Banat.	Oravicza.	»	67.518,334	67.518,334	1.056.748,32	
Confins militaires du Banat et de la Servie.	Oravicza.	»	4.167,594	4.167,594	36.700,79	
Totaux pour l'année 1859. . .	. . . . .	45.814,474	1.758.766,062	1.804.580,536	13.598.296,21	7,54
Totaux pour l'année 1855. . .	. . . . .	60.919,264	1.119.325,809	1.181.245,073	12.226.013,15	10,35
6° LIGNITES.						
Autriche inférieure.	Saint-Pölten. . . .	»	66.065,948	66.065,948	506.651,78	
Autriche supérieure.	Saint-Pölten. . . .	»	39.861,904	39.861,904	181.526,63	
Styrie.	Leoben.	22.512,234	127.856,387	150.368,621	1.450.790,62	
	Cilli.	16.374,525	156.386,321	172.760,846	1.047.777,96	
Carinthie.	Klagenfurt. . . .	»	28.520,525	28.520,525	296.310,47	
Carniole.	Laybach.	»	41.913,612	41.913,612	338.803,88	
Côtes de l'Adriatique.	Laybach.	»	11.479,813	11.479,813	159.439,00	
Tyrol.	Hall.	2.765,329	2.198,543	4.963,872	82.659,16	
Bohême.	Elbogen.	»	111.304,508	111.304,508	489.062,59	
	Brüx (Komotau).	»	411.601,246	411.601,246	1.546.475,52	
	Pilsen.	»	78,121	78,121	180,81	
	Kuttenberg. . . .	»	34.620,994	34.620,994	150.519,59	
Moravie.	Olmütz.	»	41.980,422	41.980,422	160.475,88	
Gallicie. Cercle de Cracovie.	Cracovie.	»	19,600	19,600	216,05	
— Cercle de Lemberg.	Lemberg.	»	7.262,378	7.262,378	56.163,65	
Hongrie. Cercle d'Ofen.	Ofen.	959,969	102.823,828	103.783,797	707.201,31	
— Cercle d'Adenbourg.	Ofen.	»	82.913,009	82.913,009	602.718,89	
— Cercle de Presbourg.	Neusohl.	»	5.174,940	5.174,940	48.851,14	
— Cercle de Kaschau.	Kaschau.	»	46,817	46,817	»	
Transylvanie.	Zalathna.	»	802,438	802,438	2.510,51	
Croatie et Slavonie.	Agram.	208,548	166,435	374,983	2.418,89	
Vénétie.	Bellune.	»	6.643,343	6.643,343	64.764,49	
Dalmatie.	Zara.	»	4.817,934	4.817,934	40.361,16	
Totaux pour l'année 1859. . .	. . . . .	42.820,605	1.284.539,066	1.327.359,671	7.946.579,98	6,00
Totaux pour l'année 1855. . .	. . . . .	51.046,560	869.554,496	920.601,056	6.931.666,90	7,52

PROVINCES.	ARRONDISSEMENTS minéralogiques.	PRODUCTION. Mines ou usines impériales.	Mines ou usines particulières.	Ensemble.	VALEUR.	PRIX MOYEN sur le lieu de production.
7. CUIVRE.		ton.	ton.	ton.	fr.	fr.
Styrie	Leoben	»	5,133	5,133	18.103,70	
Tyrol	Hall	138,043	45,808	183,851	532.763,95	
Salzbourg	Hall	7,784	100,914	108,698	314.716,99	
Bohême	Kuttenberg	»	7,952	7,952	21.372,84	
Bukowine	Lemberg	»	63,841	63,841	225.159,01	
Hongrie. Cercle d'Ofen	Ofen	»	0,647	0,647	1.383,62	
— Cercle de Presbourg	Neusohl	191,075	3,808	194,883	497.230,72	
— Cercle de Kaschau	Kaschau	467,384	1.046,267	1.513,651	3.646.479,90	
— Cercle de Grosswardein	Nagybanya	10,100	20,398	30,498	65.997,79	
Servie et Banat	Oravicza	»	98,434	98,434	296.210,72	
Transylvanie	Zalathna	22,848	63,663	86,511	234.191,80	
Confins militaires du Banat et de la Servie	Agram	»	26,712	26,712	74.427,16	
Vénétie	Bellune	225,517	»	225,517	654.750,62	
Totaux pour l'année 1859		1.062,751	1.483,577	2.546,328	6.582.788,82	2.585,04
Totaux pour l'année 1855		692,562	1.839,725	2.532,287	7.555.863,45	2.983,00
8. PLOMB.						
Carinthie	Klagenfurth	966,485	3.128,272	4.094,457	2.695.200,74	
Carniole	Laybach	»	376,719	376,719	246.516,86	
Tyrol	Hall	»	94,586	94,586	51.083,88	
Bohême	Prague	220,812	»	220,812	139.464,65	
	Elbogen	1,288	37,745	39,033	23.608,41	
	Pilsen	»	3,472	3,472	2.234,07	
Silésie	Olmütz	»	2,744	2,744	686,26	
Hongrie. Cercle de Presbourg	Neusohl	516,385	165,315	681,700	446.860,72	
— Cercle de Kaschau	Kaschau	»	4,502	4,502	2.126,19	
— Cercle de Grosswardein	Nagybanya	487,420	21,000	508,420	304.452,00	
Servie et Banat	Oravicza	4	21,000	21,000	12.600,00	
Transylvanie	Zalathna	69,721	»	69,721	45.342,59	
Vénétie	Bellune	16,800	»	16,800	11.111,11	
Totaux pour l'année 1859		2.288,816	3.879,414	6.168,230	3.926.423,21	636,67
Totaux pour l'année 1855		4.538,969	3.264,222	7.803,191	5.528.819,45	708,53
9. LITHARGE.						
Tyrol	Hall	4,592	»	4,592	3.188,89	
Bohême	Prague	940,985	»	940,985	579.529,89	
Hongrie. Cercle de Presbourg	Neusohl	334,494	»	334,494	210.161,11	
— Cercle de Kaschau	Kaschau	»	0,280	0,280	179,01	
Totaux pour l'année 1859		1.280,071	0,280	1.280,351	793 058,99	639,31
Totaux pour l'année 1855		296,917	109,985	406,902	297.623,75	744,50
10. MINERAI DE PLOMB.						
Styrie	Gilli	»	1,960	1,960	86,42	
Bohême	Elbogen	76,106	17,584	93,690	38.347,47	
	Pilsen	74,481	765,142	839,623	348.167,19	
Moravie	Olmütz	»	657,508	657,508	14.495,06	
Gallicie. Cercle de Cracovie	Cracovie	»	22,456	22,456	2.122,99	
Confins militaires du Banat et de la Servie	Oravicza	»	2 7.589	297,589	3.326,64	
Totaux pour l'année 1859		150,587	1.762,239	1.912,826	406.545,77	212,52
11. MERCURE.						
Carniole	Laybach	283,437	»	283,437	1.502,496,41	
Hongrie. Cercle de Kaschau	Kaschau	»	35,971	35,971	158.320.07	
Transylvanie	Zalathna	»	0,104	0,104	413,06	
Royaume Lombard-Vénitien	Bellune	»	36,177	36,177	144.483,50	
Totaux pour l'année 1859		283,437	72,252	355,689	1.805,713,04	5.076,65
Totaux pour l'année 1855		153,123	62,140	215,262	1.237.001,80	5.748,00

PROVINCES.	ARRONDISSEMENTS minéralogiques.	PRODUCTION. Mines ou usines impériales.	Mines ou usines particulières.	Ensemble.	VALEUR.	PRIX MOYEN sur le lieu de production.
12. NICKEL ET COBALT.		ton.	ton.	ton.	fr.	fr.
§ 1. *Minerais.*						
Bohême.	Elbogen.	»	0,143	0,143	487,16	
	Brüx (Komotau).	»	3,472	3,472	333,46	
Hongrie. Cercle de Kaschau.	Kaschau.	»	367,367	367,367	426.066,34	
Totaux pour l'année 1859.		»	370,982	370,982	426.886,96	1.189,57
Totaux pour l'année 1855.		8,948	227,501	236,449	322.541,70	1.364,10
§ 2. *Speiss.*						
Salzbourg.	Hall.	»	3,696	3,696	5.133,33	1.388,948
§ 3. *Métal.*						
Styrie.	Leoben.	»	3,920	3,920	44.938,27	
Bohême.	Elbogen.	2,788	0,206	2,994	28.760,22	
Totaux pour l'année 1859.		2,788	4,126	6,914	73.698,49	10.659,37
13. ZINC.						
Carniole	Laybach.	»	358,966	358,966	205.753,09	
Tyrol.	Hall.	»	71,065	71,065	45.762,33	
Gallicie. Cercle de Cracovie.	Cracovie.	23,016	722,917	745,933	283.112,64	
Royaume Lombard-Vénitien.	Bellune.	70,225	»	70,225	37.155,56	
Totaux pour l'année 1859.		93,241	1.152,948	1.246,189	571.783,62	458,81
Totaux pour l'année 1855.		15,064	918,872	933,936	477.292,45	510,10

14. MINERAI DE ZINC.						
Styrie.	Cilli.	»	70,449	70,449	543,58	
Carinthie.	Klagenfurt.	377,391	1.020,700	1.398,121	32.213,35	
Gallicie. Cercle de Cracovie.	Cracovie.	»	3.835,732	3.835,732	83.126,14	
Totaux pour l'année 1859.		377,391	4.926,912	5.304,303	115.883,07	21,87
Totaux pour l'année 1855.		274,008	3.627,008	3.901,016	93.124,05	23,80
15. — § 1. *Antimoine cru.*						
Bohême.	Pilsen.	»	14,840	14,840	7.851,85	
Hongrie. Cercle d'OEdenbourg	Ofen.	»	0,616	0,616	327,41	
— Cercle de Presbourg.	Neusohl.	187,547	»	187,547	131.065,80	
— Cercle de Kaschau.	Kaschau.	26,377	58,689	85,066	40.327,56	
Totaux pour l'année 1859.		213,924	74,145	288,069	179.572,42	621,85
Totaux pour l'année 1855.		56,448	96,931	153,389	81.645,40	532,00
§ 2. *Antimoine-régule.*						
Hongrie. Cercle de Presbourg.	Neusohl.	»	89,602	89,602	114.567,90	
— Cercle de Kaschau.	Kaschau.	»	15,232	15,232	18.133,33	
Totaux pour l'année 1859.		»	104,834	104,834	132.701,23	1.265,84
16. MINERAI D'ANTIMOINE.						
Autriche inférieure.	Saint-Pölten.	»	46,967	46,967	3.251,11	
Bohême.	Pilsen.	»	28,001	28,001	6.172,84	
	Kuttenberg.	»	0,392	0,392	43,21	
Hongrie. Cercle d'OEdenbourg.	Ofen.	»	16,184	16,184	784,94	
Totaux.		»	91,544	91,544	10.252,10	111,99
17. ARSENIC.						
Salzbourg.	Hall.	»	43,458	43,458	14.082,96	
Totaux pour l'année 1859.		»	43,458	43,458	14.082,96	324,08
Totaux pour l'année 1855.		»	75,544	75,544	29.560,10	390,00

PROVINCES.	ARRONDISSEMENTS minéralogiques.	PRODUCTION. Mines ou usines impériales.	Mines ou usines particulières.	Ensemble.	VALEUR.	PRIX MOYEN sur le lieu de production.
18. SOUFRE.		ton.	ton.	ton.	fr.	fr.
Salzbourg	Hall	18,592	»	18,592	4.636,52	
Bohême	Elbogen	»	308,229	308,229	63.413,58	
	Pilsen	»	47,321	47,321	13.123,46	
Gallicie. Cercle de Cracovie	Cracovie	949,721	»	949.721	242.9 9,90	
Hongrie. Cercle de Presbourg	Neusohl	27,889	»	27,889	10.38.,19	
Croatie et Slavonie	Agram	48,553	»	48,553	17.684,75	
Vénétie	Bellune	115,810	»	115,810	22.246,91	
Totaux pour l'année 1859		1.160,565	355,550	1.516,115	374.478.31	246,91
Totaux pour l'année 1855		947,072	640,912	1.587,984	408.926,25	250,00
19. PYRITES.						
Carniole	Laybach	»	100,354	100,354	442,59	
Tyrol	Hall	»	5,600	5,600	49,38	
Bohême	Elbogen	»	2.734,417	2.734,417	55 289 62	
	Pilsen	»	688,980	688.980	2.001,70	
	Kuttenberg	»	1.632,989	1.632,989	19 048.40	
Moravie	Olmütz	»	22,344	22,344	260,12	
Silesie	Olmütz	»	75,577	75.317	845.09	
Hongrie. Cercle de Presbourg	Neusohl	»	1.157,317	1.157,317	6.633,53	
Servie et Banat	Oravicza	»	969,920	969.920	13.424,45	
Transylvanie	Zalathna	»	46,705	46,705	691,91	
Totaux pour l'année 1859		»	7.434,003	7.434,003	98.686,79	13,45
Totaux pour l'année 1855		»	703,421	703,421	4.449,10	6,30
20. VITRIOL DE FER.						
Côtes de l'Adriatique	Laybach	»	4,704	4,704	611,85	
Bohême	Elbogen	»	1.625,317	1.625,317	100.02 ,69	
Bohême	Pilsen	»	131,434	131,434	11.720,99	
	Kuttenberg	»	610,131	610,131	87.429,01	
Transylvanie	Zalathna	1,008	»	1,008	333,93	
Vénétie	Bellune	801,038	»	801,038	61.772,84	
Totaux pour l'année 1859		802,046	2.371,586	3.173,632	261.893,31	82,45
Totaux pour l'année 1855		1,848	4.603,480	4.605,328	692.984,72	168,10
21. SULFATE DE CUIVRE.						
Salzbourg	Hall	24,752	»	24.752	19.251,85	
Bohême	Pilsen	»	28,280	28,280	31.450,62	
	Kuttenberg	»	82,658	82,658	72.444,44	
Totaux pour l'année 1859		24,752	110,938	135,690	123.146,91	907,39
Totaux pour l'année 1855		0,504	212,520	213,024	205.786,80	966,20
22. ALUN.						
Autriche inférieure	Saint-Pölten	»	27.945	27,945	9.055,93	
Styrie	Leoben	»	67,481	67,481	14.871,61	
	Cilli	»	160,667	160,667	43.532,59	
Côtes de l'Adriatique	Laybach	»	4,872	4,872	1.652,30	
Bohême	Elbogen	»	691,220	691,220	157.135,80	
Moravie	Olmütz	»	86,073	86,073	26 565,43	
Hongrie. Cercle d'Oedenbourg	Ofen	»	224,004	224,004	69.135,80	
— Cercle de Kaschau	Kaschau	»	104,722	104,722	24.080,49	
Totaux pour l'année 1859		»	1.366,984	1.366,984	346.029,95	253,12
Totaux pour l'année 1855		»	1.315,104	1.315,104	424.394,15	322,70
23. SCHISTES ALUMINEUX ET VITRIOLIQUES.						
Bohême	Prague	»	214,484	214,484	283,71	
	Pilsen	»	35.977,842	35.977,842	24.146,96	
Totaux pour l'année 1859		»	36.192,326	36.192,326	24.430,67	6,61
Totaux pour l'année 1855		»	36.261,160	36.261,160	28.329,00	7,50

PROVINCES.	ARRONDISSEMENTS métallurgiques.	PRODUCTIONS. Mines ou usines impériales.	Mines ou usines particulières.	Ensemble.	VALEUR.	PRIX MOYEN sur le lieu de production.
24. GRAPHITE.		ton.	ton.	ton.	fr.	fr.
Autriche inférieure.	Saint-Pölten.	»	306,885	306,885	4.523,95	
Styrie.	Leoben.	»	356,166	356,166	6.797,28	
Carinthie.	Klagenfurt.	»	30,353	30,353	2.364,95	
Bohême.	Kuttenberg.	»	2.883,828	2.883,828	100.814,73	
Moravie.	Olmütz.	»	1.313,671	1.313,671	36.966,84	
Totaux pour l'année 1859.		»	4.890,903	4.890,903	151.467,75	30,95
Totaux pour l'année 1855.		»	3.606,340	3.606,340	88.835,80	24,63
25. MANGANÈSE.						
Autriche supérieure.	Saint-Pölten.	»	1,680	1,680	59,26	
Bohême.	Elbogen.	»	48,609	48,609	1.810,12	
	Kuttenberg.	»	14,000	14,000	137,04	
Totaux pour l'année 1859.		»	64,289	64,289	2.006,42	31,22
Totaux pour l'année 1855.		»	41,889	41,889	1.963,00	46,10
26. MINERAI DE CHROME.						
Styrie.	Leoben.	»	40,321	40,321	4.666,67	
Totaux pour l'année 1859.		»	40,321	40,321	4.666,67	115,74
Totaux pour l'année 1855.		»	13,720	13,720	2.142,00	160,00
27. ÉTAIN.						
Bohême.	Elbogen.	6,261	14,931	21,192	73.951,95	
	Brüx (Komotau).	»	29,751	29,751	89.748,64	
Totaux pour l'année 1859.		6,261	44,682	50,943	163 700,59	3.213,37
Totaux pour l'année 1855.		9,744	32,484	42,168	146.918,10	3.480,00

28. BISMUTH.						
Bohême.	Elbogen.	»	0,177	0,177	1.545,00	
Totaux pour l'année 1859.		»	0,177	0,177	1.545,00	8.716,73
Totaux pour l'année 1855.		0,057	»	0,057	535,50	9.350,00
29. WOLFRAM.						
Bohême	Brüx (Komotau).	»	28,897	28,897	69.448,02	
Totaux pour l'année 1859.		»	28,897	28,897	69.448,02	240,07
Totaux pour l'année 1855.		»	112,000	112,000	42,00	370,00
30. MINERAI D'URANE.						
Bohême	Elbogen.	1,929	1,562	3,491	40.744,10	
Totaux pour l'année 1859.		1,929	1,562	3,491	40.744,10	11.670,81
Totaux pour l'année 1855.		1,008	1,086	2,094	20.356,85	9.720,00
31. ORPIMENT.						
Hongrie. Cercle d'OEdenbourg.	Ofen.	»	1,456	1,456	243,15	
Totaux pour l'année 1859.		»	1,456	1,456	243,15	166,97
Totaux pour l'année 1855.		»	1,288	1,288	9.660,00	750,00
32. MINERAI D'ARGENT.						
Bohême.	Kuttenberg.	»	14,560	14,560	3.130,01	
Hongrie. Cercle de Grosswardein.	Nagybanya.	12,992	3,080	16,072	531,79	
Totaux pour l'année 1859.		12,992	17,640	30,632	3.661,80	123,89
33. MINERAI DE CUIVRE.						
Carniole.	Laybach.	»	1.033,106	1.033,106	36.934,32	
Bohême.	Kuttenberg.	»	1.936,515	1.936,515	43.365,18	
Confins militaires de Croatie et de Slavonie.	Agram.	»	691,108	691,108	109.409,88	
Totaux pour l'année 1859.		»	3.660,729	3.660,729	183.709,38	49,38

PROVINCES.	ARRONDISSEMENTS métallurgiques.	PRODUCTIONS. Mines ou usines impériales.	Mines ou usines particulières.	Ensemble.	VALEUR.	PRIX MOYEN sur le lieu de production.
34. MINERAI DE FER.		ton.	ton.	ton.	fr.	fr.
Autriche inférieure	Saint-Pölten.	»	613,818	613,818	3.572,89	
Styrie	Cilli.	»	3,136	3,136	48,59	
Tyrol	Hall.	2.758,609	»	2.758,609	57.664,59	
Salzbourg	Hall.	»	33,041	33,041	164,42	
Hongrie. Cercle d'Ofen	Ofen.	»	16,856	16,856	45,53	
— Cercle d'OEdenbourg	Ofen.	»	56,001	56,001	172,84	
— Cercle de Presbourg	Neusohl.	»	235,204	235.204	829,63	
Servie et Banat	Oravicza.	»	14.702,727	14.702,727	305.550 62	
Croatie et Slavonie	Agram.	»	2.564.902	2.564,902	17.902,57	
Confins militaires de Croatie et de Slavonie	Agram.	»	6.205,303	6.205,303	43.151,40	
Totaux pour l'année 1859		2.758,609	24.430,988	27.189,597	429.102,88	15,80
35. PIERRE A ASPHALTE.						
Tyrol	Hall.	»	121,131	121,131	2.117,78	
Hongrie. Cercle de Grosswardein	Nagybanya.	»	41,441	41.441	767,40	
Croatie	Agram.	»	78,401	78,401	508,15	
Dalmatie	Zara.	»	87,081	87,081	313,58	
Totaux pour l'année 1859		»	328,054	328,054	3.706,91	11,29
36. ASPHALTE.						
Gallicie	Cracovie.	»	66,529	66,529	9.424,20	
Totaux pour l'année 1859		»	66,529	66,529	9.424,20	14,16
Totaux pour l'année 1855		»	155,064	155,064	3.633,00	23,36
				Total général des valeurs en 1859		105.028 469,77
				Total général des valeurs en 1855		97.798.185,10

Tableau récapitulatif de la production minière et métallurgique de l'empire d'Autriche en 1859 (les salines exceptées.)

PROVINCES.	DISTRICTS minéralogiques.	OR.	ARGENT.	FONTE d'affinage.	FONTE de moulage.	HOUILLE.	LIGNITES.	CUIVRE.
		kilog.	kilog.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.
Autriche supérieure	Saint Pölten	0,043	»	»	»	265.949	39.861,904	»
Autriche inférieure	Saint-Pölten	»	»	2.824,633	349,222	36.619,166	66.065.948	»
Styrie	Leoben	»	»	80 299,330	4.490,217	832.175	150.368.621	5,133
	Cilli	»	»	1.597,840	3.472	1.876,761	172 760,846	»
Carinthie	Klagenfurt	»	»	31.376,688	565,498	»	28.520,525	»
Carniole	Laybach	»	»	4.827,398	1.085,355	»	41.913,612	»
Côtes de l'Adriatique	Laybach	»	»	»	»	»	11.4 9,813	»
Tyrol	Hall	7,530	184,472	2.063.245	571,658	»	4.963,872	183,851
Salzbourg	Hall	21,910	92,995	3.499,558	250,492	»	»	108,698
	Prague	»	12.461,432	20.306,355	6.840,802	601.279.657	»	»
	Elbogen	»	945,764	1.989,548	843,991	»	111.304,508	»
Bohême	Brüx (Komotau)	»	3,650	665,796	162,459	1.318,151	411.601,246	»
	Pilsen	»	»	6.073,252	3.513,839	238.900,210	78,121	»
	Kuttenberg	»	»	4.513,457	2.155,983	62.419,835	34.620,994	7,952
Moravie	Olmütz	»	»	22.799,408	5.102,139	185.432,919	41.980,422	»
Silésie	Olmütz	0,053	4,692	3.257,634	1.742,471	383.863,111	»	»
Gallicie Cercle de Cracovie	Cracovie	»	»	1.686,806	2.020,460	85.917,070	19,600	»
— Cercle de Lemberg	Lemberg	»	»	404,495	498,634	»	7.262,378	»
Bukowine	Lemberg	»	»	2.143,326	165,107	»	»	63,841
Hongrie. Cercle d'Ofen	Ofen	»	»	358,798	61,265	»	103 783,797	0,647
— Cercle d'OEdenbourg	Ofen	»	»	»	»	134.169,604	82.913,009	»
— Cercle de Presbourg	Neusohl	390,714	11.722,504	8.404,182	893,048	»	5.174,940	194 883
— Cercle de Kaschau	Kaschau	12,607	3.466,696	57.057,739	3.529,351	»	46.817	1.513,651
— Cercle de Grosswardein	Nagybanya	216,063	3.33 ,484	1.443,034	85,234	»	»	30,498
Servie et Banat	Oravicza	3,782	192,889	14.041,579	2.283,272	67.518,334	»	98,434
Transylvanie	Zalathna	993,908	2.114,476	4.660,404	968,705	»	802,438	86,511
Croatie et Slavonie	Agram	»	»	293,781	60,649	»	374,983	»
Confins milit. de Croatie et Slavonie	Agram	»	»	121,074	»	»	»	26,712
Confins milit. de Banat et Servie	Oravicza	0,017	»	1.395,881	998,386	4.167,594	»	»
Venétie	Belluno	»	»	»	»	»	6.643,343	225,517
Dalmatie	Zara	»	»	»	»	»	4.817,934	»
Totaux		1.646,627	34.527,154	278 105,221	39.242,308	1.804.580,536	1.327.359,671	2.546,328

Tableau récapitulatif de la production minière et métallurgique de l'empire d'Autriche en 1859 (Suite).

PROVINCES.	DISTRICTS minéralogiques.	PLOMB.	LITHARGES.	MINERAI de plomb.	MERCURE.	NICKEL ET COBALT. § 1. Minerai.	§ 2. Speiss.	§ 3. Métal.	ZINC.
		ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.
Autriche supérieure	Saint-Pölten	»	»	»	»	»	»	»	»
Autriche inférieure	Saint-Pölten	»	»	»	»	»	»	»	»
Styrie	Leoben	»	»	»	»	»	»	3,920	»
	Cilli	»	»	1,960	»	»	»	»	»
Carinthie	Klagenfurt	4.094,457	»	»	»	»	»	»	»
Carniole	Laybach	376,719	»	»	283,437	»	»	»	358,966
Côtes de l'Adriatique	Laybach	»	»	»	»	»	»	»	»
Tyrol	Hall	94,586	4,592	»	»	»	»	»	71,065
Salzbourg	Hall	»	»	»	»	»	3,696	»	»
Bohême	Prague	220,812	940,985	»	»	»	»	»	»
	Elbogen	39,033	»	93,690	»	0,143	»	2,994	»
	Brüx (Komotau)	»	»	»	»	3,472	»	»	»
	Pilsen	3,472	»	839,623	»	»	»	»	»
	Kuttenberg	»	»	»	»	»	»	»	»
Moravie	Olmütz	»	»	657,508	»	»	»	»	»
Silésie	Olmütz	2,744	»	»	»	»	»	»	»
Gallicie. Cercle de Cracovie	Cracovie	»	»	22,456	»	»	»	»	745,933
— Cercle de Lemberg	Lemberg	»	»	»	»	»	»	»	»
Bukowine	Lemberg	»	»	»	»	»	»	»	»
Hongrie. Cercle d'Ofen	Ofen	»	»	»	»	»	»	»	»
— Cercle d'OEdenbourg	Ofen	»	»	»	»	»	»	»	»
— Cercle de Presbourg	Neusohl	681,700	334,494	»	»	»	»	»	»
— Cercle de Kaschau	Kaschau	4,592	0,280	»	35,971	367,367	»	»	»
— Cercle de Grosswardein	Nagybanya	511,625	»	»	»	»	»	»	»
Servie et Banat	Oravicza	51,969	»	»	»	»	»	»	»
Transylvanie	Zalathna	69,721	»	»	0,104	»	»	»	»
Croatie et Slavonie	Agram	»	»	»	»	»	»	»	»
Confins militaires de Croatie et Slavonie	Agram	»	»	»	»	»	»	»	»
Confins militaires de Banat et Servie	Oravicza	»	»	297,589	»	»	»	»	»
Vénétie	Bellune	16,800	»	»	36,177	»	»	»	70,225
Dalmatie	Zara	»	»	»	»	»	»	»	»
Totaux		6.168,230	1.280,351	1.912,826	355,689	370,982	3,696	6,914	1.246,189

Tableau récapitulatif de la production minière et métallurgique de l'empire d'Autriche en 1859 (Suite).

PROVINCES.	DISTRICTS minéralogiques.	MINERAI de zinc.	§ 1. Antimoine cru.	§ 2. Antimoine régule.	MINERAI d'antimoine.	ARSENIC.	SOUFRE.	PYRITES.	VITRIOL de fer.
		ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.
Autriche supérieure	Saint-Pölten	»	»	»	»	»	»	»	»
Autriche inférieure	Saint-Pölten	»	»	»	46,967	»	»	»	»
Styrie	Leoben	»	»	»	»	»	»	»	»
	Cilli	70,449	»	»	»	»	»	»	»
Carinthie	Klagenfurt	1.398,121	»	»	»	»	»	»	»
Carniole	Laybach	»	»	»	»	»	»	100,354	»
Côtes de l'Adriatique	Laybach	»	»	»	»	»	»	»	4,704
Tyrol	Hall	»	»	»	»	»	»	5,600	»
Salzbourg	Hall	»	»	»	»	43,458	18,592	»	»
Bohême	Prague	»	»	»	»	»	»	»	»
	Elbogen	»	»	»	»	»	308,229	2.734,417	1.625,317
	Brüx (Komotau)	»	»	»	»	»	»	»	»
	Pilsen	»	14,840	»	28,001	»	47,321	688,980	131,434
	Kuttenberg	»	»	»	0,392	»	»	1.632,989	610,131
Moravie	Olmütz	»	»	»	»	»	»	22,344	»
Silésie	Olmütz	»	»	»	»	»	»	75,377	»
Gallicie. Cercle de Cracovie	Cracovie	3.835,732	»	»	»	»	949,721	»	»
— Cercle de Lemberg	Lemberg	»	»	»	»	»	»	»	»
Bukowine	Lemberg	»	»	»	»	»	»	»	»
Hongrie. Cercle d'Ofen	Ofen	»	»	»	»	»	»	»	»
— Cercle d'OEdenbourg	Ofen	»	0,616	»	16,184	»	»	»	»
— Cercle de Presbourg	Neusohl	»	187,547	89,602	»	»	27,889	1.157,317	»
— Cercle de Kaschau	Kaschau	»	85,066	15,232	»	»	»	»	»
— Cercle de Grosswardein	Nagybanya	»	»	»	»	»	»	»	»
Servie et Banat	Oravicza	»	»	»	»	»	»	969,920	»
Transylvanie	Zalathna	»	»	»	»	»	»	46,705	1,008
Croatie et Slavonie	Agram	»	»	»	»	»	48,553	»	»
Confins militaires de Croatie et Slavonie	Agram	»	»	»	»	»	»	»	»
Confins militaires de Banat et Servie	Oravicza	»	»	»	»	»	»	»	»
Vénétie	Bellune	»	»	»	»	»	115,810	»	801,038
Dalmatie	Zara	»	»	»	»	»	»	»	»
Totaux		5.304,302	288,069	104,834	91,544	43,458	1.516,115	7.434,003	3.173,632

Tableau récapitulatif de la production minière et métallurgique de l'empire d'Autriche en 1859 (Suite).

PROVINCES.	DISTRICTS minéralogiques.	SULFATE de cuivre.	ALUN.	SCHISTES alumineux et vitrioliques.	GRAPHITE.	MANGANÈSE.	MINERAI de chrome.	ÉTAIN.	BISMUTH.	Wolfram.
		ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.
Autriche supérieure	Saint-Pölten.	»	»	»	»	1.680	»	»	»	»
Autriche inférieure	Saint-Pölten.	»	27,945	»	306,885	»	»	»	»	»
Styrie	Leoben.	»	67,481	»	356,166	»	40,321	»	»	»
	Cilli.	»	160,667	»	»	»	»	»	»	»
Carinthie	Klagenfurt.	»	»	»	30,353	»	»	»	»	»
Carniole	Laybach.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Côtes de l'Adriatique	Laybach.	»	4,872	»	»	»	»	»	»	»
Tyrol	Hall	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Salzbourg	Hall.	24,752	»	»	»	»	»	»	»	»
Bohême	Prague.	»	»	214,484	»	»	»	»	»	»
	Elbogen.	»	691,220	»	»	48,609	»	21,192	0,177	»
	Brüx (Komotau).	»	»	»	»	»	»	29,751	»	28,897
	Pilsen.	28,280	»	35.977,842	»	»	»	»	»	»
	Kuttenberg.	82,658	»	»	2.883,828	14,000	»	»	»	»
Moravie	Olmütz	»	86,073	»	1.313,671	»	»	»	»	»
Silésie	Olmütz.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Gallicie. Cercle de Cracovie	Cracovie.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
— Cercle de Lemberg	Lemberg.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Bukowine	Lemberg.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Hongrie. Cercle d'Ofen	Ofen.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
— Cercle d'OEdenbourg	Ofen.	»	224,004	»	»	»	»	»	»	»
— Cercle de Presbourg	Neusohl.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
— Cercle de Kaschau	Kaschau.	»	104,722	»	»	»	»	»	»	»
— Cercle de Grosswardein	Nagybanya.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Servie et Banat	Oravicza.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Transylvanie	Zalathna.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Croatie et Slavonie	Agram.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Confins milit. de Croatie et Slavonie	Agram.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Confins milit. de Banat et Servie	Oravicza.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Vénétie	Bellune.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Dalmatie	Zara.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Totaux		135,690	1.366,284	36.192,326	4.890,103	63,289	40,321	50,943	0,177	28,897

PROVINCES.	DISTRICTS minéralogiques.	MINERAI d'urane.	ORPIMENT.	MINERAI d'argent.	MINERAI de cuivre.	MINERAI de fer.	PIERRE à asphalte.	ASPHALTE.	VALEURS.
		tón.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton	fr.
Autriche supérieure	Saint-Pölten.	»	»	»	»	»	»	»	185.970,19
Autriche inférieure	Saint-Pölten.	»	»	»	»	613,818	»	»	1.557 704,67
Styrie	Leoben.	»	»	»	»	»	»	»	17.509.480,99
	Cilli.	»	»	»	»	3,136	»	»	1.387 064,16
Carinthie	Klagenfurt.	»	»	»	»	»	»	»	7.898.841,78
Carniole	Laybach.	»	»	»	1.033,106	»	»	»	3.458.178,68
Côtes de l'Adriatique	Laybach.	»	»	»	»	»	»	»	1.1.703,15
Tyrol	Hall.	»	»	»	»	2.758,609	121,131	»	1.485.736,18
Salzbourg	Hall.	»	»	»	»	33,041	»	»	1.225.039,81
Bohême	Prague.	»	»	»	»	»	»	»	12.444.980,79
	Elbogen.	3,491	»	»	»	»	»	»	1.834.262,63
	Brüx (Komotau).	»	»	»	»	»	»	»	1.900.168,66
	Pilsen.	»	»	14,560	»	»	»	»	3.610 701,16
	Kuttenberg.	»	»	»	1.936,515	»	»	»	2.191.590,16
Moravie	Olmütz.	»	»	»	»	»	»	»	6.591,776,69
Silésie	Olmütz.	»	»	»	»	»	»	»	4.092.179,74
Gallicie. Cercle de Cracovie	Cracovie.	»	»	»	»	»	»	66,529	1.998.035,35
— Cercle de Lemberg	Lemberg.	»	»	»	»	»	»	»	263.854,22
Bukowine	Lemberg.	»	»	»	»	»	»	»	632.388,61
Hongrie. Cercle d'Ofen	Ofen.	»	»	»	»	16,856	»	»	771.968,85
— Cercle d'OEdenbourg	Ofen.	»	1,456	»	»	56,001	»	»	1.612 368,60
— Cercle de Presbourg	Neusohl.	»	»	»	»	235,204	»	»	7.116.936,96
— Cercle de Kaschau	Kaschau.	»	»	»	»	»	»	»	12.080.73 ,89
— Cercle de Grosswardein	Nagybanya.	»	»	16,072	»	»	41,441	»	1.938.106,73
Servie et Banat	Oravicza.	»	»	»	»	14.702,727	»	»	4.171.571,38
Transylvanie	Zalathna.	»	»	»	»	»	»	»	5.055 734,38
Croatie et Slavonie	Agram.	»	»	»	»	2.564,902	78,401	»	92.089,79
Confins milit. de Croatie et Slavonie	Agram.	»	»	»	691,108	6.205,303	»	»	233.442,75
Confins milit. de Banat et Servie	Oravicza.	»	»	»	»	»	»	»	488.839,01
Vénétie	Bellune.	»	»	»	»	»	»	»	996.285,04
Dalmatie	Zara.	»	»	»	»	»	87,081	»	40 674,74
Totaux		3,491	1,456	30,632	3.660,729	27.189,597	328,054	66,529	105.028.409,772

État récapitulatif donnant pour les années 1855, 1856, 1857, 1858 *et* 1859, *la statistique des principaux produits de l'industrie minière et métallurgique de l'Autriche.*

NATURE DES PRODUITS.	1855	1856	1857	1858	1859	DIFFÉRENCE DE 1855 A 1859. Augmentation totale.	Augmentation p. 100.	Diminution totale.	Diminution p. 100.
A. *Combustibles minéraux.*	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.		tonnes.	
Houille	1.180.445.073	1.287.643.481	1.397.656.718	1.610.179.673	1.804.580.536	624.135.463	53	»	»
Lignites	920.601.056	1.058.593.824	1.105.710.499	1.300.515.648	1.327.359.671	406.758.612	44	»	»
B. *Métaux.*	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.		kil.	
Or	1.478.454	2.912.850	2.722.400	2.470.450	1.646.625	168.173	11	»	»
Argent	35.016.318	59.615.450	53.394.750	51.858.650	34 527.154	»	»	489.184	1
Fonte	tonnes. 275.968.822	tonnes. 287.526.831	tonnes. 377.807.635	tonnes. 333.481.251	tonnes. 317.347.529	tonnes. 41.378.707	15	tonnes. »	»
Cuivre	2.532 287	2.351.002	1.891.770	2.308.753	2.546.328	14.341	»	»	»
Plomb	7.803.191	5.330.735	5.091.995	5.361.760	6.168.230	»	»	1.634.961	21
Mercure	215 262	255.925	401 975	242.540	355.689	140.427	61	»	»
Zinc	933.936	844.887	1.054.611	1.579.732	1.246.189	312.253	33	»	»
C. *Autre catégorie de produits d'usines.*									
Litharge	406.902	1.391.065	1.569.260	1.500.323	1.280.351	873.449	215	»	»
Speiss de nickel	7.336	17.808	11.480	12.992	3.696	»	»	3.640	50
Acide arsénieux	75.544	50.009	52.921	65.353	43.458	»	»	32.086	42
Soufre	1.587.984	1.452.218	1.565.635	1.447.962	1.516.115	»	»	71.869	5
Sulfate de fer	4.605.328	2.317 265	2.593.574	3.100.999	3.173.632	»	»	1.431.696	31
Sulfate de cuivre	213.024	87.413	185.083	97.050	135.690	»	»	77.334	36
Alun	1.315.104	1.489.011	1.367.376	1 560.580	1.366.984	51.880	4	»	»
D. *Minerais qui n'ont pas été traités dans le pays.*									
Minerais de cobalt et de nickel	236.449	125.610	388.535	341.774	370.982	134.533	57	»	»
— de zinc	3.901.016	5.464.242	5.235.869	5.916.730	5 304.303	1.403.287	36	»	»
Pyrite	703.421	596.019	4.404.647	3.674.842	7.434.003	6.730.588	96	»	»
Schistes alunifères et vitrioliques	36.261.767	37.643.704	26.669.020	26.252.373	36.192.326	»	»	69.441	»
E. *Autres produits des mines.*									
Graphite	3.606.340	3.565.833	4.097.593	4.399.663	4.890.903	1.284.563	36	»	»
Asphalte	155.064	»	4.760	1.400	66.529	»	»	88.535	58

Tableau de la production des salines de l'empire d'Autriche pendant l'exercice 1859.

PROVINCES	PRODUCTION. Sel gemme.	Sel raffiné.	Sel de mer.	Sel livré aux diverses industries.	VALEUR.	NOMBRE D'OUVRIERS. Hommes.	Femmes.	Enfants.	Total.	NOMBRE D'ACCIDENTS légers.	graves.	mortels.	Total.
	t.	t.	t.	t.	f.								
Autriche inférieure	551.610	51.401.806	»	2.479.500	18.843.735.235	1.694	189	95	1.978	336	6	1	343
Styrie	181.723	13.220.492	»	109.762	4.772.382.272	659	35	9	733	53	31	»	84
Tyrol	6,048	11.081.780	»	»	2.384.144.938	492	24	»	516	8	2	1	11
Salzbourg	67.873	14.090.860	»	»	3.684.098.765	448	»	»	448	125	2	»	127
Gallicie occidentale	73.939.464	»	»	3.859.981	24.683.323.704	1.756	»	200	1.956	354	14	2	370
Gallicie orientale	269.533	29.797.740	»	909.232	7.976.178.370	589	»	»	589	8	4	»	12
Bukowine	873.224	514.761	»	72.801	345.766.691	65	»	»	65	»	»	»	»
Hongrie	54.647.008	7.873.517	»	35.337	18.885.905.037	1.090	»	114	1.204	45	6	1	52
Transylvanie	57.882.073	»	»	»	10.840.994.889	759	53	49	861	20	5	»	25
Côtes de l'Adriatique (*)	»	»	47.013.960	»	817.832.272	1.823	1.208	1.475	4.506	»	»	»	»
Dalmatie	»	»	7.073.206	»	821.717.938	443	»	»	443	»	»	»	»
Vénétie	»	»	7.409.716	»	3.293.147.556	38	»	»	38	»	»	1	1
Totaux	188.418.556	127.981.046	61.496.882	7.466.613	67.622.327.741	9.886	1.509	1.942	13.337	949	70	6	1.025

(*) La production est probablement plus considérable, mais on ne peut pas encore donner les chiffres exacts.

Tableau indiquant pour chaque province de l'empire d'Autriche le nombre d'ouvriers employés en 1859 dans les mines et usines métallurgiques à l'exception des salines.

PROVINCES.	ARRONDISSEMENTS minéralogiques.	HOMMES.	FEMMES et enfants.	ENSEMBLE.
Autriche, au sud de l'Ems	Saint-Pölten	1.853	118	1.971
— au nord	—	317	»	317
Styrie	Leoben	4.595	367	4.962
—	Cilli	2.569	103	2 672
Carinthie	Klagenfurt	4.748	1.407	6 155
Carniole	Laybach	2.416	109	2.525
Côtes de l'Adriatique	—	162	»	162
Tyrol	Hall	1.868	28	1.891
Salzbourg	—	883	39	922
Total partiel		19.406	2.170	21.577
Bohême	Prague	12.141	451	12.592
—	Elbogen	3.086	289	3.375
—	Brüx (Komotau)	3.226	477	3.703
—	Pilsen	4.489	233	4.722
—	Kuttenberg	3.196	577	3.773
Moravie	Olmütz	4.438	257	4.695
Silésie	—	5.477	478	5.955
Gallicie, cercle de Cracovie	Cracovie	2.521	457	2.978
— cercle de Lemberg	Lemberg	525	67	592
Bukowine	—	950	80	1.030
Total partiel		40.049	3.366	43.415
Hongrie:				
cercle d'Ofen	Ofen	797	192	989
cercle d'OEdenbourg	—	1.641	257	1.898
cercle de Presbourg	Neusohl	7.384	764	8.148
cercle de Kaschau	Kaschau	8.042	2.575	10.617
cercle de Grosswardein	Nagybanya	3.058	641	3.699
Servie et Banat	Oravicza	2.576	305	2.881
Transylvanie	Zalathna	8.371	1.598	9 969
Croatie et Slavonie	Agram	170	26	196
Confins militaires:				
de Croatie et Slavonie	—	302	54	356
du Banat et de la Servie	Oravicza	424	82	506
Total partiel		32.765	6.494	39.259
Vénétie	Bellune	1.022	68	1.090
Dalmatie	Zara	28	63	91
Total partiel		1.050	131	1.181
Total général pour l'année 1859		93.270	12.162	105.432
— pour l'année 1855		79.887	20.420	100.307

Accidents dans les mines et usines pendant l'exercice 1859.

PROVINCES.	DISTRICTS minéralogiques.	ACCIDENTS légers.	graves.	mortels.	Total.
Autriche inférieure	Saint-Pölten	10	1	3	14
Autriche supérieure	—	8	»	»	8
Styrie	Leoben	29	25	4	56
—	Cilli	1	2	4	7
Carinthie	Klagenfurt	16	7	1	24
Carniole	Laybach	31	3	3	37
Tyrol	Hall	8	2	1	11
Salzbourg	—	10	3	1	14
Bohême	Prague	60	35	23	118
—	Elbogen	5	1	5	11
—	Brüx (Komotau)	17	6	13	36
—	Pilsen	28	4	2	34
—	Kuttenberg	19	4	2	25
Moravie	Olmütz	32	6	5	43
Silésie	—	57	14	34	105
Gallicie, cercle de Cracovie	Cracovie	6	1	6	13
Bukowine	—	»	»	1	1
Hongrie, cercle de Presbourg	Ofen	2	»	2	4
— cercle d'OEdembourg	—	11	»	6	17
— cercle de Presbourg	Neusohl	9	15	15	39
— cercle de Kaschau	Kaschau	112	6	8	126
— cercle de Grosswardein	Nagybanya	60	12	6	78
Servie et Banat	Oravicza	210	25	13	248
Transylvanie	Zalathna	41	7	4	52
Croatie et Slavonie	Agram	1	»	»	1
Confins militaires:					
de la Croatie et de la Slavonie	—	7	»	2	9
du Banat et de la Servie	Oravicza	»	»	1	1
Vénétie	Bellune	50	4	1	55
Totaux		838	183	166	1.187

Tableau des principaux appareils employés en 1859 dans les mines

PROVINCES.	DISTRICTS minéralogiques.	VOIES de roulage en fer.	VOIES de roulage en bois.	APPAREILS d'extraction à vapeur.	APPAREILS d'extraction hydrauliques.	APPAREILS d'extraction manéges.	APPAREILS d'épuisement à vapeur.	APPAREILS d'épuisement hydrauliques.	APPAREILS d'épuisement manéges.	APPAREILS d'épuisement à bras.
		m.	m.							
Autriche inférieure	Saint-Pölten.	8.289	44.763	5	1	5	»	»	2	17
— supérieure	—	3.034	5.688	»	»	»	»	»	»	»
Styrie	Leoben.	51.871	29.771	»	4	2	»	»	»	12
—	Cilli.	10.005	15.761	7	2	6	4	2	1	33
Carinthie	Klagenfurt.	18.907	159 892	3	23	32	2	8	»	98
Carniole	Laybach	8.708	9.931	1	4	»	»	5	»	30
Côtes de l'Adriatique	—	1.236	»	»	»	1	»	1	»	1
Tyrol	Hall.	10.951	37.073	»	4	3	»	1	»	1
Salzbourg	—	1.900	7.673	»	4	1	»	1	»	4
Bohême	Prague	123.773	2.736	29	3	4	32	6	»	12
—	Elbogen	6.026	11.469	3	4	8	14	3	»	»
—	Brüx (Komotau)	6.602	15.957	6	1	»	30	19	»	8
—	Pilsen	24.532	88.483	15	»	1	22	6	»	»
—	Kuttenberg	28.322	15.483	7	»	1	9	3	1	15
Moravie	Olmütz	50.703	3.892	24	»	6	24	1	»	10
Silésie	—	60.934	3.291	36	»	6	28	»	»	»
Gallicie, cercle de Cracovie	Cracovie	17.464	2.512	11	»	6	11	»	4	»
— de Lemberg	Lemberg	800	284	»	»	»	»	»	»	»
Bukowine	—	»	»	1	1	3	1	1	1	2
Hongrie : cercle d'Ofen	Ofen	2.370	794	3	»	5	»	»	»	2
— cercle d'OEdenbourg	—	13.031	265	10	»	9	4	»	1	»
— cercle de Presbourgg	Neusohl	36.276	40.006	»	31	40	»	61	2	11
— cercle de Kaschau	Kaschau	10.326	227.505	1	14	33	»	13	5	12
— de Grosswardein	Nagybanya	7.326	34.494	»	3	7	1	9	1	77
Servie et Banat	Oravicza	19.180	17.060	4	»	»	1	1	»	»
Transylvanie	Zalathna	26.713	68.317	»	3	8	»	3	»	15
Croatie et Slavonie	Agram	256	447	1	»	»	»	»	»	»
Confins militaires de Croatie et Slavonie	—	493	4.473	»	»	»	»	»	»	»
— — du Banat et de Servie	Oravicza	2.861	4.192	»	»	»	»	»	»	»
Vénétie	Belluno	1.138	1.096	»	»	»	»	»	»	»
Total		554.027	853.308	167	103	187	183	145	18	362

(*) Dans ce nombre sont compris 14 fourneaux à fer dits *Wolfsöfen*.

et usines de l'empire d'Autriche, à l'exception des salines.

APPAREILS pour la préparation mécanique. Flèches de bocards.	Cylindres broyeurs.	Labyrinthes.	Tables à secousses.	Cribles à secousses.	HAUTS FOURNEAUX à fer. Hors feu.	En feu.	Semaines de travail.	Autres hauts fourneaux.	Demi-hauts fourneaux.	Fours à manche.	Fours divers.	Fours de cupellation	Fours de sublimation.	Fours de distillation.	Fours de grillage.	Fours à réverbère.	Fours à cornes.	Ateliers d'amalgamation.	Ateliers de lessivage.	Chaudières d'évaporation.	Cristallisoirs.	Appareils d'extraction.	Baes de cémentation.
34	»	»	»	»	»	3	122	»	»	»	»	»	»	1	7	»	»	»	12	8	38	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
228	8	2	6	23	4	30	1.196,5	»	»	5	1	»	»	»	121	11	»	»	18	4	12	»	»
20	5	1	7	7	1	2	67	1	1	1	»	1	»	»	5	»	»	»	30	4	3	»	»
493	43	30	82	590	3	20	507	»	1	1	1	1	1	»	121	67	4	»	»	»	»	»	»
56	10	»	9	40	»	8	186	»	5	1	»	»	»	»	47	24	11	»	»	4	»	4	4
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	27	2	29	»	»
399	11	44	147	12	2	2	83	1	3	8	4	2	1	»	4	1	»	1	»	5	»	»	1
256	»	74	76	1	1	4	124,5	2	1	6	5	1	5	»	4	»	»	3	1	24	10	»	»
79	2	»	19	2	»	14	695	9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
104	2	1	19	5	3	5	201	4	»	2	2	3	4	3	8	5	2	»	43	19	171	41	»
73	»	»	12	»	1	2	84	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
72	1	»	14	»	1	10	446	1	»	»	»	»	4	40	8	5	337	»	20	79	80	20	»
74	»	4	23	4	4	12	486	1	2	1	3	»	1	»	17	2	2	5	3	6	58	»	»
113	1	2	»	»	3	22	906	»	»	»	»	»	»	»	10	»	»	4	5	96	»	»	»
32	3	»	2	8	»	7	261	»	2	»	»	1	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	6	3	6	209,5	»	2	»	»	»	3	65	1	»	1	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	1	8	170	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
87	»	»	10	»	»	3	112	5	»	»	1	1	»	»	23	»	»	»	»	»	»	»	1
12	»	»	»	»	»	1	26	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	1	1	»	»	19	8	80	»	»
3.359	14	361	361	38	1	9	355	11	20	2	6	8	3	»	8	8	»	»	»	»	3	»	
270	»	17	43	3	3	46	2.017	1	12	8	9	2	21	»	20	2	»	3	2	5	10	2	17
1.129	1	»	153	1	1	6	139	7	15	2	7	4	»	3	4	11	»	1	»	3	»	1	»
42	»	»	2	1	»	12	490	8	18	2	5	1	»	»	15	8	»	1	»	»	»	»	»
12.738	»	148	176	»	»	5	208	10	7	16 (*)	6	6	»	»	4	»	»	2	1	1	»	»	»
12	»	»	»	»	»	1	17	»	»	2	1	»	4	1	8	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
6	»	»	»	»	»	1	8	»	2	»	3	»	»	»	3	»	»	»	»	»	»	»	»
40	»	»	»	»	»	3	108	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»
19.749	101	684	1.165	751	32	242	9.225	65	92	57	58	31	47	114	443	147	357	20	181	276	574	71	89

RAPPORT (1)

ADRESSÉ A S. EXC. LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS PAR LA COMMISSION CHARGÉE D'ÉTUDIER LES CONDITIONS SPÉCIALES D'ÉPAISSEUR POUR LES TÔLES D'ACIER FONDU EMPLOYÉES DANS LA CONSTRUCTION DES CHAUDIÈRES A VAPEUR,

ET COMPOSÉE DE

MM. COMBES ET LORIEUX, inspecteurs généraux des mines,

et

COUCHE, ingénieur en chef des mines, *rapporteur*.

MM. Jackson Pétin et Gaudet ont présenté à l'exposition de 1855 une chaudière à vapeur cylindrique en tôle d'acier fondu, la première de ce genre qui ait été construite en France.

Après la clôture de l'exposition, MM. Jackson Pétin et Gaudet offrirent à l'administration supérieure de mettre cette chaudière à sa disposition, pour faire tels essais qu'elle jugerait convenable.

M. le ministre accepta cette offre, et, par décision du 15 mars 1856, sur l'avis de la Commission centrale des machines à vapeur, il chargea une Commission spéciale de procéder à des expériences en vue d'apprécier la valeur de la nouvelle tôle et la réduction d'épaisseur qui pourrait lui être accordée pour la construction des parties cylindriques des générateurs.

La première chose à faire était de constater les propriétés mécaniques du métal. Mais il fallait aussi constater comment il résiste à l'action du feu et à l'action chimique des gaz ; il fallait, en un mot, avant de son-

(1) Publié par ordre du ministre, sur l'avis de la Commission centrale des machines à vapeur.

ger à formuler un avis, avoir soumis la chaudière à un service très-prolongé.

La première série d'expériences dut comprendre, en conséquence, trois opérations distinctes :

1° Essai de la chaudière à une pression d'épreuve très-supérieure à la pression réglementaire pour les tôles de fer, dans les mêmes conditions de diamètre et d'épaisseur.

2° Mesure des résistances à la rupture et des allongements de rupture de tôles d'acier de même nature que celles dont la chaudière était formée.

3° Installation de la chaudière dans un fourneau en maçonnerie et mise en service prolongé, dans les conditions normales, sous le contrôle de la Commission.

Il a été rendu compte de ces premiers essais dans un rapport dont nous reproduisons ici les principaux résultats, pour rassembler tous les faits propres à éclairer la question.

Essai de la chaudière.

1° *Essai de la chaudière.* — La chaudière a 1 mètre de diamètre intérieur, et la tôle $0^m,006$ d'épaisseur. Les rivets, espacés de $0^m,032$ de bord en bord des trous, ont $0^m,016$ de diamètre (section, 200 mil. quarrés).

La formule $e = 1,8\,(n-1)\,d+3$ donne, en faisant $d=1$ et $e=6$: $n = 2^{atm},67$, soit $2^{atm},75$.

L'épreuve devant être faite au triple de la pression effective, la tension absolue serait, pour la tôle de fer, $3\times 1,75+1 = 6^{atm},25$.

On avait d'abord jugé convenable de soumettre le métal, seulement à une tension double de celle qui est exigée pour la tôle de fer; l'épreuve eût été faite alors à une tension absolue de $2\times 3\times 1,75+1 = 11^{atm},50$. Mais les constructeurs ayant déclaré qu'ils avaient eux-mêmes poussé l'épreuve jusqu'à 17 atmosphères, il n'y avait pas de motifs pour s'arrêter au-dessous de cette limite.

L'épreuve a eu lieu, en présence de la Commission, le 27 juillet 1856. La chaudière, parfaitement étanche, était munie d'un manomètre élastique système Bourdon. La pression s'est élevée rapidement à 17 atmosphères et a été soutenue pendant quelque temps. On remarquait seulement deux ou trois fuites très-légères. L'effort correspondant, en pleine tôle et suivant les génératrices, était de $17^k,78$ par millimètre quarré. Dans les lignes de joints suivant les génératrices, la section pleine étant réduite aux deux tiers, l'effort atteignait $20^k,67$, abstraction faite de l'influence du frottement dû à la tension longitudinale des rivets, c'est-à-dire en considérant ceux-ci comme des goupilles résistant transversalement.

Essai de tôles présentées comme exactement de même nature que celles de la chaudière.

2° *Essai des tôles.* — La Commission avait demandé aux constructeurs des pièces d'essai d'une tôle identique à celle dont la chaudière était formée.

Ces pièces, découpées suivant la forme ordinaire, et exactement calibrées à la lime douce entre les deux renflements percés d'un trou circulaire, présentaient une section transversale de $0^m,010$ de largeur sur $0^m,006$ d'épaisseur. Des traits équidistants et très-légers y avaient été ménagés, entre les traits extrêmes servant de repères, pour permettre d'apprécier le degré d'uniformité des grands allongements. L'insuffisance de la longueur des échantillons ne permettait pas de mesurer ces allongements sous de faibles charges, inférieures à la limite d'élasticité. Cette observation eût d'ailleurs exigé l'emploi d'un cathétomètre, et l'installation de l'expérience faite en plein air, au moyen de la grue, dans l'usine de M. Cail, à Grenelle, ne se prêtait pas à ces essais de précision. Le coefficient d'élasticité n'a donc pu être mesuré, mais il le sera prochainement, comme nous le dirons plus bas (page 357).

Tableau I.

Nos d'ordre des expériences.	CHARGE		ALLONGEMENT SOUS LA CHARGE		OBSERVATIONS.		
	totale.	par millimèt. quarré de la section initiale.	total.	proportionnel.	Longueur initiale.	Sens des pièces.	Aire de la section de rupture.
	kil.	kil.	millim.		millim.		
1	3.479	57,98	32	0,178	180 rupture.	Sens du laminage.	$6^{mm},75 \times 3,95 = 26^{mmq},66$ ou 44,44 p. 100 de la section initiale.
2	2.432	40,53	10	0,055	180	*id.*	
	2.649	44,15	14	0,078			
	2.841	47,35	30	0,155	rupture.		$5^{mm},75 \times 3,70 = 21^{mmq},28$ ou 35,46 p. 100.
3	2.405	40,10	9	0,050	180	*id.*	
	2.812	46,87	32	0,178	rupture.		»
4	2.282	38,00	7,5	0,041	180	*id.*	
	2.734	45,57	22,5	0,123	rupture.		$5^{mm},5 \times 4 = 22^{mmq}$ ou 31,7 p. 100.
5	1.789	29,81	3,10	0,017	180	perpendiculaire au laminage.	
	2.375	39,57	8,3	0,046			
	2.875	47,91	33,75	0,133	rupture.		»
6	1.634	27,23	non mesurable.	»	180		
	1.831	30,51	3,66	0,020			
	2.349	39,15	7,33	0,040			
	2.416	40,40	12	0,067		*id.*	»
	2.664	44,40	17	0,094			
	5 min. après	*id.*	19,50	0,108			
	2.714	45,23	22	0,125			
	2.772	46,20	32	0,178	rupture.		

Les constructeurs avaient annoncé des résistances de 80 kilogrammes ; on voit qu'elles ont varié seulement de 46k,20 à 58 kilogrammes à peine. L'expérience, faite par traction directe, en soulevant les charges au moyen de la manivelle manœuvrée avec beaucoup de précaution, présentait d'ailleurs sur ce point des garanties complètes d'exactitude. Interrogés sur les causes probables de cet énorme écart, les constructeurs l'attribuèrent naturellement au défaut d'identité entre les

tôles essayées et celles de la chaudière ; les premières, beaucoup plus douces, devaient être par suite beaucoup moins résistantes. Ceci se rattache à une opposition bien tranchée qui existerait entre les deux propriétés essentielles de la tôle d'acier fondu, la résistance et la ductilité. Les fabricants déclarent qu'ils sont tout à fait en mesure d'exalter l'une aux dépens de l'autre, et cela, à coup sûr, par des procédés de fabrication parfaitement nets. Nous reviendrons plus tard sur ce fait qui constituerait d'ailleurs un argument en faveur du métal dont il s'agit, puisqu'on pourrait, dans chaque cas, approprier ses qualités aux exigences de sa destination. Nous nous bornerons à faire remarquer pour le moment que si la résistance des tôles essayées était médiocre, leur ductilité était en effet très-remarquable, comme l'indiquent à la fois les allongements sous la charge à l'instant de la rupture, qui atteignaient 19 p. 100, et la réduction de la section de rupture, qui s'abaisse jusqu'à 31,7 p. 100 de la section initiale.

Résistance de la rivure.

Une autre série d'expériences faites le 28 avril 1857, chez M. Gouin, a eu pour objet la mesure de la résistance de la rivure. La solidité limitée de l'appareil de suspension ne permettant pas de pousser les expériences jusqu'à la rupture d'un rivet qui eût exigé un effort de près de 10.000 kil., on a dû se contenter de mesurer la partie de cette résistance due à la tension longitudinale du rivet, résistance qui au surplus, est seule en jeu, jusqu'au glissement des feuilles, lorsque, comme cela arrive fréquemment, le corps du rivet ne remplit pas exactement les trous des feuilles. Les rivets étaient posés au rouge, en procédant exactement comme on le fait dans tous les travaux de ce genre exécutés chez M. Gouin. Trois bandes de tôle d'acier fondu de 0m,050

1° Assemblage de trois feuilles.

de largeur et $0^m,006$ d'épaisseur étaient réunies par un rivet également en acier fondu, de $0^m,016$ de diamètre. Le trou de la feuille du milieu était ovalisé.

Premier essai. — Charge de 2.570 kil. appliquée d'avance, — Le glissement a lieu immédiatement, sans qu'on ait la certitude que toute la charge a été soulevée.

Deuxième essai. — Charge augmentée graduellement. — Le glissement a lieu sous une charge de 2.409 kil., soit $11^k,98$ par millimètre quarré de la section transversale du rivet.

Troisième essai. — Charge portée graduellement à 2.861 kil. — Le glissement a lieu au bout de quelques minutes, sous cette charge, qui correspond à $14^k,25$ par millimètre quarré de la section transversale du rivet.

Si au lieu de travailler par tension longitudinale les rivets travaillaient par résistance au cisaillement, les efforts réellement subis seraient respectivement égaux à la moitié de ces chiffres, puisqu'il y aurait deux sections résistantes.

2° Assemblage de deux feuilles.

L'expérience a été renouvelée ensuite, mais cette fois sur deux feuilles seulement, l'un des trous étant ovalisé.

Quatrième essai. — Le glissement a eu lieu sous une charge de 3.436 kil., soit $17^k,18$ par millimètre quarré de la section du rivet.

Cinquième essai. — Un glissement partiel a eu lieu sous 3.400 kil., et le glissement total, amenant la tranche de la feuille au contact du corps du rivet, sous 3.512 kil., soit $17^k,56$ par millimètre quarré de la section du rivet.

L'excès de ces chiffres sur ceux de la première série d'expériences s'explique soit par une légère impression des têtes du rivet dans les tôles, soit tout simplement par une température plus élevée des rivets au moment de la façon des têtes.

En admettant un tiers pour coefficient de frottement dans les conditions des surfaces en contact, la tension longitudinale permanente du rivet était respectivement, dans les quatre essais précédents, de : $18^k,19$, $21^k,45$, $25^k,77$ et $25^k,84$ par millimètre quarré, chiffres qui paraissent indiquer une température trop élevée des rivets lors de la façon des têtes, surtout si l'on considère que la valeur attribuée au coefficient du frottement est peut-être exagérée (1).

Tolérance provisoire.

Ces essais préliminaires terminés, la Commission ne pouvait qu'ajourner ses opérations jusqu'à l'époque où la chaudière, ayant subi l'épreuve d'un service prolongé, pourrait être l'objet d'un examen concluant. Tenant compte d'ailleurs de la tendance favorable des résultats déjà acquis, malgré leur insuffisance, M. le Ministre, sur l'avis conforme de la Commission centrale des machines à vapeur, accordait une tolérance d'un tiers de l'épaisseur aux chaudières qui seraient con-

(1) Il résulte du mode ordinaire d'exécution de la rivure, que les rivets travaillent tout autant dans une chaudière froide, que quand la vapeur y atteint sa tension maximum ; tout autant dans un pont soustrait à toute charge extérieure, que quand il est soumis à la charge d'épreuve, etc. — Dans les chaudières, cet état de chose peut être motivé par la nécessité d'éviter les fuites; mais, pour les ponts, il est difficile d'admettre que ce soit là une situation normale. On atténue sans doute ainsi les conséquences d'un perçage irrégulier des trous, mais au prix d'une fatigue *permanente* et souvent excessive des rivets. Ceux-ci devraient travailler transversalement, et par suite en raison de la charge, comme les tôles elles-mêmes. — On a cherché à réaliser cette condition dans plusieurs ponts allemands en alésant les trous avec une grande précision et remplaçant les rivets posés à chaud, soit par des rivets façonnés à froid, soit par des boulons coniques à écrous, comme le fait M. Pauli, de Munich; mais des soins si minutieux et un travail manuel si considérable ne sont possibles que quand la main-d'œuvre est à très-bas prix.

struites en acier fondu. Toutefois, rien n'indiquait si cette réduction s'appliquait, pour les locomotives, aux épaisseurs déjà réduites d'un tiers, en vertu de la tolérance spéciale accordée antérieurement à ces machines.

Par dépêche du 18 mai 1859, M. le Ministre invitait la Commission « à vérifier le plus tôt possible l'état de » la chaudière et à lui adresser un rapport circonstan- » cié contenant ses observations et propositions. »

La Commission dut, en présence de cette invitation, faire démonter la chaudière qui, du reste, avait fonctionné d'une manière continue pendant près de trois ans.

Examen de la chaudière après un service de trois années.

Un examen minutieux constata que la chaudière était en parfait état, que la région du coup de feu, notamment, n'avait éprouvé aucune altération. Les surfaces étaient restées nettes, unies ; les arêtes aux joints, bien vives ; les têtes des rivets, intactes.

On pouvait craindre que la tôle d'acier ne fût en elle-même, et toutes choses égales d'ailleurs, plus altérable que la tôle de fer par l'action du feu. Mais, sauf l'influence de la composition du métal, on devait compter qu'il se comporterait mieux au feu que la tôle de fer, qui se grille par suite de la soudure imparfaite des mises et de leur séparation sous l'action de la chaleur. D'un autre côté, une tôle mince doit, par cela même qu'elle est mince, pourvu qu'elle soit exempte de soufflures, résister mieux au feu qu'une tôle épaisse, puisque la température de la surface en contact avec le feu diminue avec l'épaisseur.

La première chose à faire était de soumettre la chaudière à une nouvelle épreuve de pression, en la poussant même, cette fois, beaucoup plus loin. Elle a été portée à trois reprises à 21 atmosphères, chiffre constaté

par un manomètre Bourdon, marquant jusqu'à 45 atmosphères. Quelques fuites très-faibles se déclarèrent sous cette pression, qui n'a pu être dépassée, les pompes perdant beaucoup d'eau. D'ailleurs le tuyau de communication étant très-court, les hommes qui manœuvraient la pompe étaient placés si près de la chaudière, qu'ils auraient peut-être été atteints dans le cas où elle aurait cédé.

La tension correspondante en pleine tôle, suivant les génératrices, dépassait au surplus 15 kilogrammes, chiffre très-considérable pour une épreuve destinée, non à constater la résistance absolue du métal lui-même, mais à révéler ses défauts accidentels et surtout ceux des rivures.

Essai des tôles provenant de la chaudière.

Cela fait, la chaudière a été découpée. Des pièces d'essai ont été prises dans les diverses feuilles repérées d'avance, de manière à apprécier et l'influence de la position occupée par la feuille dans la chaudière, et celle du sens du laminage.

Comme dans la première série d'expériences, les pièces ont été réduites à une section de $0^{m},010$ sur $0^{m},006$.

Cette fois on a mesuré, à partir de la charge de 40 kilogrammes environ par millimètre carré, non-seulement les allongements sous la charge, mais aussi les allongements permanents correspondants à des charges croissantes par degrés assez rapprochés. Au-dessous de la charge de 40 kilogrammes environ, les allongements élastiques, et *à fortiori* les allongements permanents, étaient trop faibles pour être mesurés avec quelque exactitude avec les moyens dont on disposait.

Tableau II.

	Charge directe d'épreuve.	Sections successives de la tôle	Charge par millimètre quarré de la section initiale.	LONGUEUR DE LA TOLE avant l'épreuve.	LONGUEUR DE LA TOLE pendant l'épreuve.	LONGUEUR DE LA TOLE après l'épreuve.	Allongement proportionnel total sous la charge.	ALLONGEMENT PERMANENT absolu.	ALLONGEMENT PERMANENT proportionnel.
	kil.	mill. q.	kil.	millim.	millim.	millim.		millim.	
	2.400	66	36,36	204	205,5	204	0,0073	»	»
1re *pièce d'essai.*	2.700	66	40,90	204	206	205,5	0,0098	1,5	0,0073
Coup de feu de la chaudière.	3.000	65	45,45	205,5	208	207,5	0,0196	3,5	0,0171
—	3.098	64	46,93	207,5	208,75	208,25	0,0232	4,25	0,0208
Travers de la tôle.	3.378	63	51,18	208,25	211,5	211,5	0,0367	7,5	0,0367
	3.564	61	54,00	211,5	214	214	0,0490	10	0,0490
	3.794	60	57,48	214	224	»	0,0980	20	»
	Rupture quelques instants après le soulèvement de la charge.								
	2.544	63,3	40,18	202	203,5	203	0,0074	1	0,0049
2e *pièce d'essai.*	3.150	63	49,76	203	206,5	205,5	0,0222	3,5	0,0173
Coup de feu de la chaudière.	3.272	60	51,69	205,5	208	207,5	0,0297	5,5	0,0272
—	3.540	59	55,92	207,5	210	210	0,0396	8	0,0396
Longueur de la tôle.	3.840	58,5	60,66	210	222	»	0,099	20	»
	Rupture pendant le soulèvement de la charge.								
	2.544	64,7	39,32	202,5	206	205,5	0,0172	3	0,0148
3e *pièce d'essai.*	3.150	64	48,68	205,5	210	210	0,0370	7,5	0,0370
Dessus; longueur de la chaudière.	3.272	59,5	50,57	210	211,5	211,5	0,0444	9	0,0444
—	3.540	59	54,71	211,5	217,5	217,5	0,0740	15	0,0740
Travers de la tôle.	3.741	57,4	57,82	217,5	221	221	0,0913	18,5	0,0913
	3.878	55,4	59,93	221	226	»	0,1164	23,5	»
	Rupture sans soulèvement de la charge.								

Le fait qui frappe d'abord, à l'inspection de ce tableau, c'est la supériorité de la résistance des tôles provenant de la chaudière, comparées à celles qui avaient été essayées primitivement (*Tableau* I).

On remarque, par contre, que les allongements proportionnels sont moindres; ce qui confirme l'opposition déjà indiquée (p. 315) entre la résistance et la ductilité.

Les allongements permanents après la rupture ne figurent pas dans ce tableau. On aurait pu cependant les mesurer en rapprochant exactement les deux tronçons de chaque pièce d'essai, mais on a omis de le faire.

Cette omission, au surplus, ne tire pas à conséquence. On voit en effet que si les allongements sous la charge dépassent d'abord notablement les allongements qui persistent lorsque la charge est enlevée, la différence diminue quand cette charge croît, et disparaît quand on approche de la charge de rupture. En d'autres termes, l'élasticité d'abord simplement altérée disparaît ensuite. Arrivé à ce point, l'acier se comporte comme le ferait un corps mou, qui conserve toute entière la déformation que la charge lui a imprimée. Il est clair d'ailleurs que la charge sous laquelle cet effet se produit suffirait elle-même pour déterminer la rupture si (comme il serait certainement préférable de le faire) on la laissait agir un certain temps. L'équilibre est, en effet, dès ce moment devenu impossible.

Nous ne posons pas, bien entendu, cette disparition de l'élasticité comme un fait rigoureux, absolu; l'élasticité persiste sans doute encore dans une certaine mesure, mais inappréciable par les moyens d'observation dont nous disposions (1).

(1) Il s'agit ici d'observations pratiques, telles qu'on peut en faire dans les ateliers, et nullement d'expériences de physique. C'est en opérant sur des barres de 15 mètres de longueur que

Les conséquences importantes en pratique qui ressortent de ces expériences sont les suivantes :

1° Les tôles provenant de la chaudière présentent une résistance toujours considérable, et variant entre des limites peu écartées.

2° L'allongement à l'instant de la rupture, oscillait autour du chiffre 1/10.

3° Si l'influence du sens du laminage et celle du coup de feu pendant un service continu de trois années, sont réelles, elles sont du moins très-faibles, les écarts étant du même ordre que ceux qu'on observe toujours dans les expériences de ce genre.

Essai de la rivure de la chaudière.

On a cherché ensuite à obtenir au moins une limite inférieure de la résistance des lignes de rivure. On avait, dans ce but, découpé des bandes de tôle réunies par un rivet. Deux spécimens ont été soumis à des charges successives de : 6.000, 7.000, 8.000, 9.000, 10.000, 10.500, et 11.000 kil. Jusqu'à 10.000 kil., charge correspondante à 50 kil. par millimètre carré de la section transversale du rivet, aucun indice de rupture ne s'est produit. Sous la charge de 10.500 kil. une

M. Hodgkinson a pu suivre jusqu'à la fin l'excès de l'allongement sous la charge sur l'allongement permanent, et constater en même temps la rapidité avec laquelle cette différence décroît. Nous empruntons à une de ses séries d'expériences les résultats suivants :

Charge en kil. par mill. quarré.		$5^k,62$	$13^k,12$	$29^k,99$	$35^k,26$
Allongements proportionnels	sous la charge.	0,0002837	0,0006656	0,02023	0,03493
	permanents.	0,0000025	0,0000068	0,01900	0,03280

Ils suffisent pour confirmer le fait établi plus haut: c'est-à-dire que, quand on approche de la rupture, l'allongement sous la charge et l'allongement permanent ne diffèrent plus que d'une fraction tout à fait négligeable en pratique.

gerçure s'est produite dans la tête conique (extérieure) du rivet. Sous 11.000 kil. (55 kil. par millimètre carré de la section du rivet) la fissure s'est élargie et un léger glissement s'est opéré entre les deux feuilles.

La résistance limitée de la grue n'a pas permis de pousser l'expérience jusqu'à la rupture complète du rivet. Déjà des ruptures avaient eu lieu dans la chaîne de suspension, et l'expérience ne laissait pas que de présenter quelques dangers.

Essais comparatifs sur des tôles de fer.

Les tôles de fer ont été, en France et surtout en Angleterre, l'objet d'expériences nombreuses, de sorte que les termes de comparaison ne manquaient pas. Toutefois, il a paru nécessaire de faire aussi quelques essais sur ces tôles : d'abord, parce que les résultats obtenus dans les mêmes conditions sont plus exactement comparables ; ensuite, et surtout, parce qu'on se contente généralement de mesurer la résistance à la rupture sans s'inquiéter du degré de ductilité du métal.

Parmi les applications si nombreuses du fer, il n'y en a guère que deux pour lesquelles on se préoccupe de cette propriété ; c'est quand il s'agit des câbles et des tiges de suspension des ponts suspendus, et des câbles-chaînes de la marine. Là, en effet, la considération de la *résistance vive* est d'une nécessité qui saute aux yeux. Mais pour être moins évidente quand il s'agit des chaudières à vapeur, cette nécessité n'en est pas moins réelle. Ici, sans doute, le métal n'a pas à résister à des chocs, à absorber par sa déformation élastique ou permanente, du travail mécanique. Mais il a à subir des élaborations auxquelles il doit se prêter sans commencement de rupture, sans altération. S'il est aigre, le forage des trous des rivets, le mattage des joints, l'emboutissage, etc., altèrent sa ténacité. On sait qu'il y a des fers pour rails,

si aigres, qu'ils se fendent sous l'action du poinçon, lorsqu'on perce les trous pour les boulons d'éclisses. Sans aller jusque là, lestôles naturellement aigres le deviennent encore plus, et perdent singulièrement de eur résistance par le seul fait du travail de la rivure.

Essai : 1° de tôles provenant de la chaudière de la locomotive *la Turquie*, du chemin de fer de l'Est.

S'il était nécessaire de citer des exemples, nous rappellerions celui de la locomotive *la Turquie* qui fit explosion le 20 août 1857, dans la station de Dormans (chemin de Paris à Strasbourg).

Les expériences faites sur des échantillons provenant de cette chaudière ont donné les résultats suivants (1) :

Tableau III.

Numéros des expériences.	SENS DES PIÈCES.	DIMENSIONS. Largeur.	DIMENSIONS. Épaisseur.	Sections.	CHARGE DE RUPTURE totale.	CHARGE DE RUPTURE par millim. quarré.	Allongement de rupture proportionnel.
		millim.	millim.	mil. q.	kil.	kil.	
1	Sens du laminage.	10	13,5	135	4.500	33,30	0,028
2	Sens du laminage.	10	14	140	»	»	0,013
3	Travers.	50,5	13	656	22.900	34,90	0,038
4	Sens du laminage.	51,5	13	669	19.000	28,40	0,019
5	Travers.	51	13	663	24.900	37,60	0,056
6	Sens du laminage.	51	13	663	23.100	34,80	0,069
				Moyenne.		33,85	

Une résistance de 33k,85 en moyenne, et dont les écarts n'ont rien d'excessif, est certainement satisfaisante pour des tôles puddlées. L'explosion s'explique donc d'autant moins, aupremier abord, que le niveau de l'eau ne s'était certainement pas abaissé (le foyer est

(1) Les expériences 5 à 6 ont été faites à l'usine de Guérigny (Nièvre) par les soins de MM. les ingénieurs de la marine, et au moyen de la presse hydraulique employée pour les essais de câbles-chaînes.

resté intact) (1) et que si la pression du timbre a été dépassée, elle ne l'a été, selon toutes les probabilités, que d'une quantité peu considérable et tout à fait insuffisante pour atteindre la limite de la résistance normale, même suivant les lignes de rivure (c'est-à-dire celle de la tôle réduite de 44 p. 100 environ, chiffre ordinairement admis pour les clouures à un seul rang de rivets).

Mais la question change de face si on envisage la colonne des allongements de rupture. Ces chiffres sont très-variables, mais on voit qu'ils descendent jusqu'à 1,3 p. 100. La tôle, dans certaines feuilles du moins, était donc fort aigre, et la résistance des lignes de rivure devait se ressentir gravement de ce défaut absolu de ductilité. Cette nature du métal se révélait par la seule observation du mode de rupture des échantillons, qui cédaient brusquement, sans aucun signe précurseur, et sans aucune réduction appréciable de la section de rupture. En même temps qu'elle a été la cause déterminante de l'explosion, cette manière d'être de la tôle était de nature à aggraver singulièrement ses effets, car toute l'enveloppe cylindrique s'est rompue en éclats, qui ont été projetés à de grandes distances. Elle s'est brisée comme du verre.

La résistance à la rupture n'est pas la seule propriété essentielle des tôles pour chaudières.

La résistance absolue n'est donc pas, bien loin de là, la seule propriété essentielle des tôles pour chaudières. La ductilité est tout aussi indispensable, et si ces deux qualités sont en quelque sorte complémentaires on ne doit pas hésiter à sacrifier, dans une certaine mesure, la première à la seconde. Il faut, sans doute, se garder d'employer un métal trop mou ; mais ce danger est d'autant moins à craindre que la fabrication des tôles est d'autant plus coûteuse qu'elles sont plus douces.

(1) Il en était de même de toute la tubulure.

2° de tôles anglaises et de tôles d'Audincourt.

Tableau IV.

	Charge directe d'épreuve.	Sections successives de la tôle.	Charge directe par millim. quarré de section initiale.	LONGUEUR (DE LA TOLE) avant l'épreuve.	pendant l'épreuve.	après l'épreuve.	Allongement proportionnel sous la charge.	ALLONGEMENT permanent absolu.	proportionnel.
	kil.	mil. q.	k'l.	millim.	millim.	millim.		millim.	
1° Tôle de fer puddlée anglaise.	1.400	63	23	202	202	202	»	»	»
—	2.016	63	32	202	»	»	»	»	»
Longueur de la tôle.	Rupture après soulèvement de la charge.								
	1.452	66	22,6	201	201	201	»	»	»
	1.650	»	25	201	202	202	0,0049	1	0,0049
2° Tôle de fer puddlée anglaise.	1.848	»	28	202	202	202	0,0049	1	0,0049
	1.980	»	30	202	202,25	202	0,0049	1	0,0049
—	2.112	»	32	202	203	203	0,0099	2	0,0099
Travers de la feuille.	2.244	»	34	203	204	204	0,0147	3	0,0147
	2.310	»	35	204	»	»	»	»	»
	Rupture sans soulèvement de la charge.								
3° Tôle au bois d'Audincourt.	2.310	66	35	202	212	21	0,0495	10	0,0495
	2.508	65	37,87	212	»		»	»	»
—									
Longueur de la tôle.	Rupture sans soulèvement.								
	2.208	69	32,8	200	207	207	0,0350	7	0,0350
4° Tôle au bois d'Audincourt.	2.312	68,5	33,50	207	209	209	0,0450	9	0,0450
	2.380	68	34,49	209	212	212	0,0600	12	0,0600
—	2.442	66	35,39	212	»	»	»	»	»
Travers de la tôle.	Rupture sans soulèvement.								

Ces résultats font ressortir, une fois de plus, le défaut capital de la tôle puddlée : l'aigreur. On voit que la supériorité des tôles au bois d'Audincourt réside moins dans leur plus grande résistance, que dans leur plus grande ductilité. Sous ce rapport, elles se placent entre les tôles puddlées, et les tôles d'acier fondu essayées précédemment. Rappelons d'ailleurs que les tôles au bois sont sujettes à un grave défaut : l'imperfection de la soudure, imperfection qui les rend sujettes à se dédoubler sous l'action du feu. Remarquons, en outre, que la presque identité des allongements sous la charge et des allongements permanents, commence beaucoup plus tôt que pour les tôles d'acier fondu. En principe, et sauf les chiffres qui sont seulement des approximations, cela est tout simple ; cette égalité approchée doit se produire sous des charges d'autant plus faibles que la tôle est moins résistante.

Avis des ingénieurs et des constructeurs consultés par la Commission.

Les faits qui précèdent constituent tout au moins un ensemble de présomptions très-favorables à l'introduction de l'acier fondu dans la construction des chaudières à vapeur. La Commission ne pouvait toutefois négliger de consulter les ingénieurs et les constructeurs, encore en petit nombre, qui ont fait usage de ce métal. Nous allons reproduire sommairement les résultats de cette sorte d'enquête.

D'après l'état qui nous a été remis par MM. Pétin et Gaudet, le poids total des tôles en acier fondu pour chaudières, livrées sur commandes par ces fabricants s'élève à 109.000 kil. Ces livraisons ont été effectuées dans la période comprise entre les mois de juillet 1857 et décembre 1860. Au premier rang figure la marine impériale pour le chiffre de 31.500 kil. Puis, la compagnie générale du matériel (Parent et Schaken) pour

22.000 kil. L'établissement de M. Mazeline, au Havre, pour 14.000. M. Armand, de Bordeaux, pour 11.000. Les messageries impériales (services maritimes) pour 3.800. La société Cail pour 2.800. Le chemin de fer de Paris à la Méditerranée pour 2.100, etc.

La commission se proposait de recueillir les observations de ces divers consommateurs. Les motifs qui l'ont déterminée à interrompre cette enquête seront indiqués plus bas. Il lui avait d'ailleurs paru nécessaire de consulter non-seulement les consommateurs d'acier fondu, mais aussi les ingénieurs et les constructeurs qui s'étaient abstenus jusqu'ici d'expérimenter le nouveau métal. Il importait en effet de s'assurer si cette abstention avait quelque chose de systématique, si elle était fondée sur des objections de principe, ou si elle résultait seulement de l'impossibilité d'employer économiquement l'acier fondu, dans les conditions réglementaires actuelles.

Voici le résumé des avis exprimés par les hommes spéciaux dont la Commission a invoqué l'expérience :

M. Delacour.

1° *M. Delacour, ingénieur des constructions navales et des ateliers de la Ciotat*, n'a appliqué des tôles d'acier fondu qu'à deux petites chaudières placées à bord du paquebot *la Néva*, où elles servent à la manœuvre des treuils à vapeur. M. Delacour constate que le travail de ces tôles est très-facile, qu'elles se plient et s'emboutissent parfaitement, et dispensent de placer des fers d'angle pour la jonction des feuilles à angles droits ; que leur homogénéité est complète et qu'elles ne se dédoublent pas comme la tôle de fer, ce qui les rend précieuses pour les surfaces en contact avec le feu. Mais le même ingénieur remarque que, lorsqu'il s'agit de surfaces planes, il est nécessaire, en raison même de la moindre épaisseur du métal, de multiplier les entretoises. « Il en résultera, dit-il, que le piquage des sels deviendra très-difficile. » Cette considération, jointe au prix élevé des tôles dont il s'agit, l'a empêché jusqu'ici d'en faire l'application aux grandes chaudières des navires. Mais il les regarde, en somme, comme essentiellement propres à toutes les parties rondes des chaudières, et il pense qu'on peut, en toute sécurité, réduire de moitié les épaisseurs fixées par les règlements pour les tôles de fer.

M. Delacour termine en exprimant le désir que la commission détermine les résistances à la traction, à la compression et à la torsion des pièces d'acier fondu corroyé. « Il fait, dit-« il, pour la machinerie marine, un grand usage de ce produit, « que MM. Pétin et Gaudet fabriquent en grande quantité sans « que les coefficients numériques nécessaires pour le calcul « des équarrissages aient été fixés. » Le vœu exprimé par M. Delacour répond sans doute à un besoin réel de l'industrie ; mais elle est elle-même parfaitement en position de faire ces expériences, étrangères à la question dont la commission était saisie.

M. Mazeline.

2° *M. Mazeline* déclare que « la tôle d'acier fondu se tra-« vaille parfaitement à chaud, c'est-à-dire au rouge clair ; « qu'elle est d'une malléabilité remarquable ; que le cuivre « rouge pur peut seul lui être comparé sous ce rapport ; « qu'elle ne se dédouble jamais, même sous l'action d'un feu « violent. »

Il ajoute qu'il a fait, « en tôle d'acier fondu, toutes les par-« ties exposées au feu de six bouilleurs placés dans la raffine-« rie de MM. Clerc, à Ingouville. » Ces bouilleurs fonctionnent depuis près de deux ans. M. Mazeline est convaincu, dit-il, qu'ils dureront quatre fois plus que des bouilleurs en tôle de fer.

Les applications faites par M. Mazeline aux chaudières marines sont les suivantes :

1° Canot de plaisance du prince Napoléon. La chaudière est entièrement en tôle d'acier de 4 millimètres d'épaisseur.

2° Bateau *le Finistère*, de Morlaix. On a changé tout récemment et remplacé par de la tôle d'acier les parties latérales des foyers.

3° Pour toutes les chaudières en construction, on adopte l'acier fondu pour les plaques tubulaires du foyer.

M. Mazeline ajoute qu'il est en pourparlers avec le ministère de la marine pour étendre cette application à toutes les parties en contact avec le feu, si ce n'est même aux chaudières tout entières.

Ce constructeur conclut en exprimant la conviction que l'emploi de la tôle d'acier permet de réduire sans crainte les

épaisseurs de moitié pour les parois cylindriques, et d'un tiers pour les parois planes. Il ne s'agirait, dans ce second cas, que d'une simple règle pratique, l'épaisseur des faces planes n'étant l'objet d'aucune disposition réglementaire; et c'est sans doute dans l'hypothèse d'une disposition identique des armatures que M. Mazeline propose la réduction d'un tiers.

M. Houel.

3° *M. Houel, ingénieur des établissements de la société Cail.* Cet ingénieur constate, comme ceux que nous venons de résumer les observations, les garanties que présentent l'homogénéité et la résistance de la tôle d'acier fondu; il pense, toutefois, que la réduction de moitié de l'épaisseur réglementaire doit être subordonnée à une condition : celle de la clouure à deux rangs de rivets, suivant les génératrices. Les réductions qu'il propose varieraient suivant que les tôles seraient ou non exposées à l'action du feu ou à celle de l'eau de mer, et suivant le mode de rivure. La constante ajoutée pour faire face à l'usure serait d'ailleurs réduite au plus d'un tiers, soit à 2 millimètres. Les formules seraient donc :

1° Pour les faces exposées au feu ou à l'action de l'eau de mer :

$$e = 0{,}90\ (n-1)\ d + 2 \text{ avec la rivure double;}$$
$$e = 1{,}4\ \ (n-1)\ d + 3 \text{ avec la rivure simple.}$$

2° Pour les surfaces qui ne sont en contact ni avec le feu ni avec l'eau de mer :

$$e = 0{,}65\ (n-1)\ d + 2 \text{ (rivure double);}$$
$$e = 0{,}80\ (n-1)\ d + 2 \text{ (rivure simple).}$$

Quant aux faces cylindriques comprimées, M. Houel propose la formule

$$e = 1{,}8\ (n-1)\ d + 3,$$

c'est-à-dire l'épaisseur réglementaire actuelle pour les tôles de fer travaillant par traction.

Nous discuterons plus bas ces propositions, notamment en ce qui concerne le mode de rivure, point d'une importance capitale, en effet, et dont la commission s'était déjà préoccupée.

Les ingénieurs du matériel du chemin de fer de l'Est.

4° *Le chemin de fer de l'Est* a fait construire, en 1858, une chaudière de locomotive avec foyer et boîte à feu en tôle d'acier fondu : le corps cylindrique est en tôle de fer; les épaisseurs sont les mêmes que celles qu'on donne respectivement aux tôles de fer et de cuivre dans les mêmes circonstances.

Dans le début du service de cette machine, il s'est déclaré des fissures à la partie inférieure du foyer. Plus tard, une pièce en acier de $0^m{,}40$ sur $0^m{,}20$ a dû être appliquée sur le flanc droit du foyer. De nombreux mattages d'entretoises ont été également nécessaires. Une circonstance, étrangère du reste à l'objet principal de l'expérience, est venue entraver aussi les débuts de cette machine. La tubulure en fer, qu'il était impossible de maintenir étanchée aux viroles, a dû être remplacée par une tubulure en laiton.

En somme, l'opinion du service du matériel est que l'acier manquait un peu de douceur.

Néanmoins, depuis que la chaudière a subi cette série de réparations, elle se comporte bien. Elle a parcouru environ 40.000 kilomètres.

M. Boutmy.

5° *M. Boutmy, ingénieur du matériel de la section sud du réseau de Paris à la Méditerranée*, nous a communiqué des observations qui concordent parfaitement avec celles des ingénieurs du chemin de l'Est. La ligne de la Méditerranée a en service deux locomotives pourvues d'un foyer en acier fondu. Les tôles ont 10 à 11 millimètres d'épaisseur, sauf la plaque tubulaire, qui a 18 millimètres dans toute son étendue; elle n'est pas amincie au-dessous des tubes, comme cela se pratique ordinairement pour les plaques tubulaires en cuivre. On a éprouvé, dès le début, beaucoup de difficultés pour empêcher les entretoises de couler; mais il importe de remarquer que ces entretoises étaient en fer (taraudées de 22 millimètres de diamètre et espacées de $0^m{,}09$ à $0^m{,}10$, comme les entretoises en cuivre). Il a fallu y renoncer et les remplacer par des entretoises en cuivre rouge.

En examinant récemment les deux foyers, on y a remarqué quelques légères fissures partant des trous d'entretoises et paraissant dirigées suivant le sens du laminage. Ces fentes proviennent-elles d'une certaine aigreur du métal ou des nombreux mattages nécessités par les fuites qui se déclaraient autour des entretoises en fer? M. Boutmy ne peut se prononcer sur ce point.

« Nous n'avons du reste, ajoute-t-il, pas remarqué de souf-« flures, ou tôles doubles. A l'exécution, les bords se sont

« courbés très-facilement et les rivures des tôles tiennent con-
« venablement. »

Société industrielle de Mulhou se.

6° *La Société industrielle de Mulhouse* compte parmi ses membres un grand nombre d'industriels qui sont à la fois fort éclairés et personnellement très-intéressés à tout ce qui touche au régime des appareils à vapeur. Il était donc naturel de les consulter officieusement. Le comité de mécanique a saisi cette occasion pour formuler les observations et les vœux que lui suggèrent les dispositions réglementaires en vigueur. Il n'a fait en cela que devancer la question aujourd'hui posée par M. le ministre. Mais la Commission n'avait à discuter, dans les observations des industriels de Mulhouse, que celles qui se rattachent au seul point dont elle soit saisie. A cet égard, la proposition du comité est radicale. Elle ne tend à rien moins qu'à la suppression complète de toute condition d'épaisseur, sans acception de la nature et des propriétés du métal. C'est le régime de la liberté absolue, le régime anglais, qu'on voudrait voir inaugurer.

Cette suppression serait-elle prudente? serait-elle véritablement avantageuse à l'industrie? Ce point pourra être discuté plus tard, et dans les termes absolus posés par la Société de Mulhouse. Nous l'examinerons plus bas et seulement, bien entendu, au point de vue de la tôle d'acier fondu. Nous nous bornerons pour le moment à ajouter que le comité élève des objections contre l'application d'une réduction de l'épaisseur réglementaire, fondée sur la constatation des propriétés du métal mis en œuvre. D'après lui, cette constatation entraverait la marche des travaux chez les constructeurs, et il pense que les épaisseurs une fois déterminées pour chaque nature de métal, la constatation doit se borner, dans chaque cas, à la déclaration du fabricant, déclaration appuyée au besoin par son livret de facture.

M. Hirn.

7° Un industriel très-honorablement connu par des travaux ingénieux sur les appareils à vapeur, M. *Hirn*, de Logelbach, exprime individuellement son opinion, qui est en désaccord complet avec celle de ses collègues de la Société de Mulhouse. Ainsi, tandis que ceux-ci demandent la liberté illimitée en matière d'épaisseur, M. Hirn pense qu'il y a lieu « de maintenir » à cet égard le règlement actuel et *de veiller le plus strictement* » *possible à son exécution.* » Il ne semble pas admettre même

qu'on tienne compte en aucune manière de la qualité du métal, opinion bien difficile à justifier en présence des faits acquis.

M. Farcot.

8° *M. Farcot* ne va pas aussi loin que M. Hirn. Il n'a pas d'objections à élever contre une tolérance considérable accordée à l'acier fondu. Il ne paraît pas, toutefois, très-frappé des avantages de cette mesure, ce qui paraît tenir à ce que cet habile constructeur se préoccupe surtout de la nécessité d'un autre amendement dont la Commission n'a pas, elle, à se préoccuper pour le moment : la réduction du taux des épreuves.

La Commission poursuivait cette espèce d'enquête lorsqu'une mesure importante est venue modifier profondément l'état de la question.

La Commission supposait que son travail devrait fournir à l'administration supérieure les éléments d'une révision partielle, ou plutôt d'une disposition complémentaire à ajouter à un règlement destiné à régir, plus ou moins longtemps encore, les appareils à vapeur. Elle devait, dès lors, s'entourer de tous les renseignements, et ne pas craindre de prolonger son travail pour être en mesure de soumettre à M. le ministre le projet de dispositions présentant, en quelque sorte, un caractère définitif, si tant est que ce mot soit admissible en pareille matière. Mais M. le ministre ayant chargé la Commission centrale des machines à vapeur d'étudier les bases d'une révision complète des ordonnances réglementaires de 1843, le travail de la Commission spéciale se trouve par cela même n'avoir plus qu'une portée restreinte. Les conditions relatives aux épaisseurs se trouveront nécessairement, comme toutes les autres, comprises dans le travail de révision générale auquel la Commission centrale devra se livrer, et le travail de la Commission spéciale n'a plus pour objet que de pourvoir au présent, c'est-à-dire à l'introduction de l'acier fondu dans la construction des chaudières, et cela par une disposition

provisoire, qui pourra être, au besoin, l'objet d'une révision prochaine.

Tels sont les motifs qui déterminent la commission à ne pas ajourner davantage la présentation de son rapport, et à renoncer à appuyer ses conclusions sur des documents plus complets.

Elle ne pouvait, toutefois, se dispenser de rechercher les observations qui avaient pu être faites, hors de France, sur la question dont elle était saisie.

État de la question : 1° en Allemagne;

Cette question n'est pas avancée en Allemagne. L'acier fondu, si répandu, en Prusse surtout, dans la construction des machines, l'est beaucoup moins sous forme de tôle. Une circulaire du ministre de l'industrie, du commerce et des travaux publics, en date du 11 octobre 1859, déclare qu'on ne peut, à défaut d'expériences suffisantes, fixer les épaisseurs à donner aux tôles d'acier fondu employées dans la construction des chaudières à vapeur. Le ministre ajoute que les essais d'où l'on a conclu la possibilité d'une réduction de 50 p. 100 environ ne tiennent pas compte d'une influence inconnue : celle du feu. Il se borne à laisser provisoirement aux agents chargés de la surveillance le soin d'apprécier dans chaque cas si les épaisseurs paraissent suffisantes, et à prescrire de soumettre les chaudières en acier aux mêmes épreuves que les chaudières en fer.

2° en Angleterre.

L'industrie métallurgique et l'emploi de la vapeur sont trop développés en Angleterre pour que les avantages de l'application de la tôle d'acier n'aient pas frappé les ingénieurs et les constructeurs. L'élévation toujours croissante des pressions admises dans les chaudières, celles des locomotives surtout, et les inconvénients de natures diverses qu'entraîne alors la grande

épaisseur des tôles de fer pour les générateurs de grand diamètre, donne en ce moment à la question un intérêt plus pressant encore.

D'après M. D. K. Clark, auteur d'un ouvrage récemment publié (1), on fait à Sheffield des tôles d'acier fondu pour chaudières, supportant en moyenne 67 kil. par millimètre quarré, tandis que les tôles de fer tout à fait supérieures du Yorkshire se rompent sous une charge de $39^{k},40$ et celles du Staffordshire sous une charge de $31^{k},50$. Il ne paraît pas, malheureusement, qu'on ait constaté l'allongement de rupture qui correspond au chiffre de 67 kil. Il importerait de savoir si cette résistance considérable n'est pas obtenue aux dépens de la ductilité. Quoi qu'il en soit, l'auteur, fort compétent en cette matière, exprime l'opinion la plus favorable sur l'application du nouveau métal à la construction des chaudières.

D'après d'autres renseignements publiés en 1858 par le *Mining Journal*, la tôle d'acier puddlé a été employée également avec succès. Un bateau à vapeur destiné à une exploration du Niger, et dont le poids devait être réduit au minimum strictement nécessaire, a toute sa coque et ses chaudières en tôle d'acier puddlé. On a admis que toutes les épaisseurs pouvaient être réduites de moitié, « le métal ayant une résistance double de celle des meilleures tôles de fer. » Cette assertion ne paraît pas, toutefois, appuyée sur des expériences positives, celles que l'on cite ayant été faites sur des barres d'acier martelé. Sous cette forme l'acier puddlé aurait présenté une résistance supérieure encore à celle de l'acier fondu. Nous ne citons, du reste, ces faits que pour mémoire. L'acier puddlé est jusqu'à pré-

(1) *Recent practice in the locomotive engine.* Londres, 1860.

sent, on le sait, un produit très-variable, très-inégal, et sans la fusion la garantie la plus précieuse, celle de l'homogénéité, disparaît.

En somme, on peut regarder comme suffisamment établi que la tôle d'acier fondu, au degré de carburation convenable, possède à la fois une résistance à la rupture deux fois plus grande que celle des tôles puddlées employées ordinairement dans la construction des chaudières, et une ductilité beaucoup plus grande.

Nécessité de nouvelles expériences.

Nous regrettons, toutefois, de n'être pas en mesure de préciser dès à présent la relation qui existe entre ces deux éléments essentiels. C'est surtout en vue de combler cette lacune que la commission s'était décidée d'abord à ajourner la rédaction de son rapport, et à faire de nouvelles expériences. Elles paraissent en effet indispensables, non-seulement pour appliquer à l'état actuel de la production de la tôle d'acier le régime le plus rationnel, mais aussi pour indiquer aux fabricants la voie qu'ils doivent suivre pour obtenir les tôles les mieux appropriées à la destination spéciale dont il s'agit. Les tôles d'acier fondu forment une série de produits dont les deux extrêmes diffèrent par des caractères très-tranchés. Quel est, des divers termes de cette série, celui qui convient le mieux à la construction des chaudières, et même à une partie déterminée de ces appareils? Ce point est encore très-vague. MM. Pétin et Gaudet fabriquent bien, pour cet usage, deux tôles de nature différente : l'une dite *douce*, pour les foyers et en général pour les faces qui doivent être embouties; l'autre dite *vive*, pour les parties cylindriques et extérieures. Mais ces dénominations s'appliquent-elles à des produits bien constants, et convenant réellement mieux que les autres à leur destination? Il est permis d'en douter, quand on remarque que le fabricant n'est

guidé par aucune série d'expériences complètes, et quand on se rappelle combien les échantillons présentés comme identiques à la tôle dont la chaudière était formée, en différaient en réalité (1).

Propositions de la Commission.

Quoique la nécessité d'une révision des ordonnances de 1843 fût dans notre pensée comme elle est, on peut le dire, dans la pensée de tous, nous ne pensions pas que cette révision fût si prochaine; de sorte que la solution de la question qui nous était posée se présentait à nous sous la forme d'une disposition complémentaire de l'ordonnance, conservée d'ailleurs intacte. Maintenir telles qu'elles sont les conditions d'épaisseur pour la tôle de fer; accorder à la tôle d'acier fondu une tolérance fondée sur la vérification de ses propriétés; laisser ainsi aux constructeurs et aux industriels le choix entre l'emploi de matériaux ordinaires, et l'emploi de matériaux de qualité supérieure : tel était, selon nous, le seul parti à prendre. Seulement, dans l'hypothèse d'une

(1) Le Conservatoire des arts et métiers possédant à la fois des installations matérielles très-complètes et un personnel spécial très-exercé, présente pour toutes les observations de mécanique appliquée des ressources et des garanties d'exactitude qu'on chercherait vainement ailleurs. MM. Pétin et Gaudet ayant remis au rapporteur des pièces d'essai assez longues pour permettre de mesurer avec précision les allongements élastiques ($2^m,50$), M. Tresca, sous-directeur du Conservatoire, a bien voulu se charger des expériences et faire personnellement toutes les observations. Les résultats seront publiés à la suite de ce rapport. Comme on le verra, ils confirment pleinement le principe posé par la Commission, c'est-à-dire l'impossibilité, au moins actuelle, d'accorder à la tôle d'acier fondu une large tolérance inhérente à sa nature même, et indépendante de toute constatation de ses propriétés mécanique. — Les expériences dont il s'agit font ressortir également l'influence fort remarquable de la trempe, fait sans application possible aux chaudières, mais intéressant à d'autres points de vue.

disposition réglementaire destinée à fournir une assez longue carrière, il paraissait indispensable d'établir sur des expériences nombreuses le taux et les conditions d'une tolérance qui devait nécessairement être étendue à tous les produits similaires, quelle que fût leur provenance.

On peut être moins exigeant pour une disposition simplement provisoire. Nous n'hésitons donc pas à proposer à M. le ministre, en prenant pour type les tôles de la chaudière d'essai, d'accorder une réduction de moitié de l'épaisseur réglementaire aux tôles d'acier fondu possédant à la fois une résistance à la rupture de 60 kil. par millimètre quarré, et un allongement proportionnel de rupture de $\frac{1}{15}$ au moins.

Les expériences, faciles d'ailleurs, seraient faites, en présence de l'ingénieur, aux frais du fabricant, qui devrait naturellement fournir au premier tous les moyens de vérification. L'essai devrait avoir lieu avant la mise en œuvre, sur des échantillons tirés des feuilles de tôle, et celles-ci recevraient l'empreinte d'un poinçon constatant leur admission à la tolérance réglementaire.

Nous ne pouvons pas admettre, avec le comité de mécanique de la Société de Mulhouse, qu'il y ait là une sorte d'impossibilité pratique, ou même une difficulté sérieuse.

On reproche, et non sans raison, au régime actuel de pousser les fabricants dans une voie contraire au progrès, parce qu'il astreint à un même régime tous les produits, bons ou mauvais. Qu'on encourage au contraire la production des tôles de bonne qualité, en rendant leur emploi économiquement possible, rien de mieux. Mais la tolérance étant fondée sur la qualité du métal, il faut bien que cette qualité soit constatée, et elle ne peut l'être que par l'expérience. Le comité de la Société de Mulhouse est logique, du reste, quand il

déclare la vérification presque impraticable; c'est la liberté absolue qu'il voudrait, il doit condamner tout ce qui n'est pas cette liberté !

En matière industrielle, les règlements s'appliquent à un état essentiellement variable, progressif. Il est donc dans leur nature de vieillir, de cesser, au bout d'un certain temps d'être en harmonie avec l'état et les exigences légitimes de l'industrie qu'ils régissent. Le moment est venu sans doute de reviser et de modifier profondément le régime établi par les ordonnances de 1843. Mais il ne faut pas se jeter d'un excès dans l'autre; il ne faut pas oublier que ce régime, dans son ensemble, a rendu de grands services; qu'il a atteint son but en fondant la sécurité, et qu'il a puissamment contribué à établir la bonne renommée dont jouissent à l'étranger les produits de la grosse chaudronnerie française. La mesure que nous proposons fait aussi largement que possible la part des qualités spéciales que la tôle d'acier fondu possède, mais à des degrés très-divers. Quant aux garanties dont son application serait entourée, elles paraissent indispensables au moins dans le début, et il est certain qu'en fait, la constatation dont il s'agit ne présentera pas les difficultés qu'on redoute. La production de l'acier fondu n'est pas à la portée de tout le monde, et les établissements qui s'y livreront seront à coup sûr peu nombreux.

Faces exposées au feu.

En proposant d'admettre pour ce métal, dans les conditions définies plus haut, une réduction de moitié de l'épaisseur, nous ne pensons pas qu'il y ait lieu de mettre en dehors de cette mesure, pour leur appliquer une réduction moindre, les faces en contact avec le feu. Le règlement actuel ne consacre pas de distinction à cet égard. Or, sans méconnaître qu'elle puisse être fondée jusqu'à un certain point, nous ferons remarquer

qu'elle l'est d'autant moins que la tôle est plus mince, toutes choses égales d'ailleurs, puisque celle-ci est alors moins sujette à se griller et que la fusion est d'ailleurs une garantie précieuse contre les *doublures*.

Maintien de la réduction spéciale pour les locomotives.

Nous devons rappeler également que les chaudières de locomotives jouissent actuellement d'une tolérance spéciale. Cette tolérance doit-elle être maintenue encore en prenant pour point de départ l'épaisseur déjà réduite de moitié, en raison de la qualité du métal? Nous n'hésitons pas à répondre affirmativement. Les motifs qui ont déterminé l'administration à consentir cette tolérance particulière subsistent pleinement; ils sont tout à fait indépendants de la qualité du métal, et s'appliquent dès lors aussi bien à l'épaisseur réduite en vue de cette qualité constatée qu'à l'épaisseur fixée sans en tenir compte. Il résulterait de cette disposition que le corps cylindrique d'une chaudière de locomotive en tôle d'*acier fondu*, remplissant les conditions indiquées, aurait une épaisseur égale au tiers de celle qu'on donne, dans les mêmes circonstances de diamètre et de pression, à une chaudière fixe en tôle de *fer*. Nous ne pensons pas qu'on doive s'effrayer de cette conséquence. La réduction dont il s'agit est sans danger; elle affranchira la construction des locomotives de deux grandes difficultés qu'elle rencontre aujourd'hui : d'une part, les épaisseurs interdites par les règlements auxquelles conduit la combinaison d'une forte pression et d'un fort diamètre; de l'autre, l'excès de charge par essieu qu'entraînent les machines puissantes.

Condition *sine qua non* de la réduction.

Mais, ainsi que nous l'avons fait pressentir, l'application de la réduction dont il s'agit nous paraît devoir être, dans tous les cas, subordonnée à une condition de rigueur, l'exécution convenable des rivures suivant les génératrices.

On admet généralement que la résistance de rupture, représentée par 100 en pleine tôle, se réduit à 56 p. 100 suivant les lignes de rivure simples. Ce résultat, déduit des expériences faites en 1858 par M. Fairbairn, diffère très-peu de celui qu'on obtient *à priori* quand on admet que la section transversale d'un rivet égale celle d'un intervalle, et quand on considère le premier comme résistant par cisaillement. On conçoit en effet que le frottement développé par la tension ne s'ajoute pas intégralement à la résistance transversale du rivet, celle-ci étant réduite par l'état de tension longitudinale des ressorts moléculaires.

M. Fairbairn a constaté également que la résistance aux rivures s'élève à 70 p. 100, lorsqu'il y a deux rangs de rivets. Ce résultat est, comme le premier, admis dans la pratique.

Il semble dès lors impossible de négliger un surcroît de résistance aussi considérable, et vraiment hors de proportion avec ce qu'il coûte.

Nous pensons donc que la rivure à deux rangs de rivets (rivure en quinconce) doit être une condition *sine qua non* de l'application de la réduction de moitié de l'épaisseur, cette condition ne s'appliquant, bien entendu, qu'aux joints dirigés suivant les génératrices.

Influence de l'épaisseur des tôles sur l'affaiblissement suivant les lignes de rivure.

Il importe de remarquer que la diminution de résistance suivant les lignes de rivets, soit à un seul rang, soit à deux rangs, n'est pas absolue. Elle est fonction de l'épaisseur des feuilles, et elle diminue avec elle. Ce qui tient, comme on le voit de suite, à ce que la tendance des feuilles à se placer sur le prolongement l'une de l'autre en se pliant respectivement de part et d'autre de la ligne des rivets, est d'autant moindre que l'épaisseur est plus faible. Des expériences directes, faites en Angleterre et rapportées par M. D. K. Clark,

ont constaté ce fait qui est un argument de plus en faveur de l'emploi des tôles très-résistantes, et par suite d'épaisseur très-réduite.

Fraisure des rivets exposés à l'action du feu.

Il convient aussi de signaler aux constructeurs un détail qui n'est pas sans importance. Les têtes des rivets exposées à l'action du feu se détruisent rapidement, et leur destruction est une des causes principales des fuites qui se déclarent dans la région du coup de feu. On combat efficacement, non l'érosion des têtes saillantes des rivets, mais la séparation des feuilles de tôle, en donnant au corps du rivet une forme renflée vers la tête et fraisant en conséquence les trous de la feuille extérieure. L'affaiblissement qui en résulte pour cette feuille est insignifiant, et la partie renflée du rivet supplée au défaut de résistance de la tête et maintient les feuilles en contact. On sait, du reste, que c'est uniquement par la conicité de leur corps qu'agissent les rivets appliqués aux bandages des roues de chemins de fer (1).

Faces planes.

Nous n'avons pas à nous occuper de l'application de la tôle d'acier fondu aux faces planes, qui échappent à toute prescription réglementaire, et dont la résistance repose sur une disposition convenable des armatures. Ce point doit rester, comme aujourd'hui, livré à la sanction de l'expérience et à l'appréciation des ingénieurs qui, en cas de doute, en référeront à l'administration supérieure. Nous nous bornerons à faire remarquer que pour un espacement donné des entretoises, l'épaisseur des faces qui tendent à fléchir ne peut pas être réduite dans le même rapport que celle des faces qui travaillent uniquement par traction ; et que, d'un autre côté, il est indispensable, indépendamment de la résistance propre de ces tôles, de leur conserver une épaisseur suffisante pour qu'elles saisissent un assez grand nombre de filets des entretoises, lorsque celles-ci sont taraudées. La faiblesse de l'épaisseur ne peut d'ailleurs être compensée que dans une certaine mesure par le rapprochement des entretoises qui, lorsqu'elles sont trop voisines, deviennent fort gênantes pour l'enlèvement des dépôts adhérents.

(1) C'est peut-être le lieu de citer ici les expériences faites à Wolwich, par M. Bertram, inventeur d'un procédé de soudure qui rétablit, à ce qu'il paraît, complétement la résistance intégrale des feuilles. Une chaudière de $1^{m},22$ de diamètre et formée de feuilles de 11 millimètres d'épaisseur a été construite ainsi, sans un seul rivet. M. D.-K. Clark, qui mentionne ce fait, n'hésite pas à regarder la soudure comme destinée, dans un avenir plus ou moins prochain, à remplacer la rivure.

Faces cylindriques comprimées.

Cette observation s'applique également aux cylindres pressés du dehors au dedans, et exposés dès lors à se déformer et à fléchir. Il paraît prudent d'exiger pour leurs faces une épaisseur double de celle qui est exigée pour les faces soumises à des efforts dirigés de l'intérieur vers l'extérieur, c'est-à-dire de conserver entre les épaisseurs relatives aux deux cas le rapport déjà prescrit pour les tôles de fer.

Paris, 17 janvier 1861.

Signé Ch. Combes.
T. Lorieux.
Ch. Couche, *rapporteur.*

La Commission centrale des machines à vapeur a renvoyé à une sous-commission l'examen des questions préliminaires qui se rattachent à la révision générale des règlements sur les chaudières à vapeur. C'est devant cette sous-commission, composée des membres ci-dessus de la Commission spéciale nommée par le mi-

nistre, et de MM. Pironneau et Callon, qu'il a été donné lecture du rapport précédent. MM. Pironneau et Callon ayant déclaré en adopter les conclusions, ont joint leur signature à celles de leurs collègues.

PIRONNEAU.

J. CALLON.

P. S. La Commission centrale a adhéré aux propositions de la Commission spéciale. — M. le ministre les a approuvées, et une décision en date du 26 juillet dernier, faisant application de l'article 67 de l'ordonnance du 22 mai 1843, les a rendues exécutoires.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES SUR LA RÉSISTANCE DES TÔLES EN ACIER FONDU POUR CHAUDIÈRES.

Par M. TRESCA, ingénieur, sous-directeur du Conservatoire des arts et métiers.

M. Couche, au nom de la commission chargée d'examiner les conditions de l'application de la tôle d'acier fondu à la construction des chaudières à vapeur, a demandé que des expériences fussent faites au Conservatoire impérial des arts et métiers, à l'aide des installations qui ont déjà servi à des observations de même nature, sur la résistance à la traction des tôles d'acier fondu, de la fabrication de MM. Petin et Gaudet. A cet effet, des tringles de $2^m,50$ de longueur totale ont été prises dans la longueur de la tôle, puis rabotées sur toutes leurs faces, de manière à présenter une section parfaitement régulière. Quelques-unes de ces barres ont été trempées et recuites. On les a suspendues verticalement, en les serrant fortement entre deux mâchoires, rapprochées par de forts boulons, sur une longueur de 30 centimètres environ, et afin de les empêcher de glisser dans ces mâchoires, on a fileté à froid l'extrémité saillante de chaque barre, mais sur les arêtes seulement, et de la quantité nécessaire pour y adapter un écrou fortement serré.

A la partie inférieure, les barres ont été munies de mâchoires semblables, aux boulons desquelles vient se suspendre le crochet du plateau qui porte les charges.

On verra que dans plusieurs circonstances la résistance de l'écrou, jointe à celle du frottement, n'a pas été suffisante pour maintenir complétement la pièce entre les mâchoires, et que par suite de cette imperfection dans l'assemblage, la rupture a eu lieu dans la section en partie réduite par le filetage. Nous avons eu soin d'indiquer ce résultat dans les tableaux, mais nous devons ajouter qu'il s'est généralement produit à l'assemblage supérieur, sur lequel la traction était le plus directement exercée.

La barre étant suspendue dans sa position définitive, deux repères étaient tracés sur elle, ou plutôt sur deux petites étiquettes en papier, collées à sa surface, et distantes l'une de l'autre de 1,50 environ. Deux cathétomètres complétement isolés du beffroi, auquel la barre était suspendue, permettaient de lire à chaque instant et après le placement de la charge, les déplacements successifs des repères; cette lecture pouvait facilement donner le centième de millimètre, et par la différence entre les deux déplacements simultanés, on avait la mesure de l'allongement absolu de la longueur comprise entre les deux repères. Dans presque tous les cas, les deux observateurs chargés d'enregistrer les allongements ont pu suivre les repères jusqu'au moment même de la rupture, en telle sorte que nous avons pu inscrire dans nos tableaux l'allongement total de rupture au moment où celle-ci se produit; c'est là un élément nouveau, dans ces sortes d'expériences, et son estimation en chiffres précis nous a fourni quelques comparaisons qui ne sont pas sans intérêt.

Les charges ont été produites toujours par poids directs, placés d'abord dans un grand coffre rectangulaire, supporté par un plateau de balance; lorsque ce coffre était rempli, on le chargeait de caisses en bois du

poids chacune de 16 kilogrammes, et dans lesquelles on déposait avec soin un certain nombre de boulets de 8 kilogrammes. Nos charges sont pour cette raison des multiples de 8, et elles se sont élevées jusqu'à 8.600 kilogrammes; les derniers boulets étaient approchés et déposés avec des pinces spéciales, de manière à éviter tout accident dans les manœuvres, et au moment de la rupture, toute la charge était reçue dans une fosse convenablement appropriée à ce genre d'essais.

Les précautions prises ont été d'ailleurs suffisantes pour que le plateau ne tombât jamais que d'un petit nombre de centimètres; quelques boulets seulement s'échappaient des caisses au moment du choc.

On a opéré sur deux natures d'acier désignées sous les noms d'acier vif *cc* n° 1, et d'acier doux *cc* n° 2; chacune de ces qualités a été essayée sous une section de 1 centimètre quarré environ, et sous une section de 25 millimètres quarrés. Des barres semblables ont été soumises à la trempe et au recuit par les soins de M. David, ingénieur des établissements de MM. Petin et Gaudet; elles ont été séparément expérimentées, bien que la trempe n'ait pas déterminé chez elles un degré de dureté bien facilement appréciable à la lime. Nous donnerons un tableau séparé de toutes les déterminations de chaque essai; plusieurs séries d'observations ont été faites avec la collaboration de M. Couche.

Dans les indications des charges, nous n'avons jamais compris le poids du plateau et de ses accessoires, formant une charge initiale de 180 kilogrammes, sous laquelle la distance entre les repères a été chaque fois mesurée. Il ne sera nécessaire d'en tenir compte que pour le calcul du coefficient de rupture.

Au lieu de présenter les divers tableaux dans l'ordre chronologique des expériences, nous avons pensé que

nous faciliterions les comparaisons de chiffres en rapprochant les unes des autres toutes les déterminations relatives à une même nature d'acier.

TABLEAU I.

Expériences du 22 mars 1861 sur une barre d'acier vif ce n° 1 *non trempé.*

Section $0^m,010 \times 0^m,0093 = 0,000093$; distance entre les repères $1^m,651$;

Charges partielles.	Charges totales	Charges par centimètre quarré.	Cotes du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Cotes du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongement total entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
0	0	»	79,20	»	814,50	»	»	»	»
128	128	138	78,50	0,70	813,60	0,90	0,20	0,20	0,121
128	256	275	77,76	0,74	813,04	0,56	—0,18	0,02	0,012
128	384	413	76,96	0,80	812,20	0,84	0,04	0,06	0,036
128	512	550	76,22	0,74	811,46	0,74	0,00	0,06	0,036
128	640	688	75,76	0,46	810,78	0,68	0,22	0,28	0,169
128	768	826	75,26	0,50	810,54	0,24	—0,26	0,02	0,012
128	896	963	74,94	0,32	809,80	0,74	0,42	0,44	0,266
128	1.024	1.101	74,58	0,36	809,36	0,44	0,08	0,52	0,315
128	1.152	1.238	74,38	0,20	808,90	0,46	0,26	0,78	0,472
128	1.280	1.376	74,06	0,32	808,50	0,40	0,08	0,86	0,521
128	1.408	1.514	73,82	0,24	807,70	0,80	0,56	1,42	0,860
128	1.536	1.652	73,54	0,28	807,34	0,36	0,08	1,50	0,908
128	1.664	1.789	73,30	0,24	807,00	0,34	0,10	1,60	0,969
128	1.792	1.926	72,98	0,32	806,64	0,36	0,04	1,64	0,994
128	1.920	2.064	72,76	0,22	806,30	0,34	0,12	1,76	1,066
128	2.048	2.202	72,54	0,22	806,04	0,26	0,04	1,80	1,090
128	2.176	2.339	72,24	0,30	805,68	0,36	0,06	1,86	1,126
128	2.304	2.477	72,08	0,16	805,30	0,38	0,22	2,08	1,259
128	2.432	2.615	71,84	0,24	804,94	0,36	0,12	2,20	1,332
128	2.560	2.750	71,58	0,26	802,72	2,22	1,96	4,16	2,519
128	2.688	2.890	71,36	0,22	798,60	4,12	3,90	8,06	4,808
128	2.816	3.028	67,84	3,52	779,58	19,02	15,50	23,56	14,270
256	3.072	3.303	64,30	3,54	764,10	15,48	11,94	35,50	21,502
128	3.200	3 441	63,24	1,06	760,24	4,86	3,80	39,30	23,804
256	3.456	3.709	60,60	2,64	746,72	12,52	9,88	49,18	29,788
256	3.712	3.991	55,20	5,40	729,16	17,56	12,16	61,34	37,105
374	4.096	4.404	45,24	9,96	689,84	39,32	29,36	90,70	54,936
256	4.352	4.679	rupture au milieu de la barre.				»	»	»

La section de rupture s'est trouvée réduite par striction à 7 millimètres sur 7, la barre s'étant, dans le voisinage de cette section échauffée, lors de l'allongement, d'une manière notable.

D'après le tracé que nous donnons (Pl. VI, *fig.* 1) de

la relation entre les charges par centimètre quarré et les allongements par mètre, on voit que l'élasticité est sensiblement altérée à partir de la charge $p = 2.477$ kilogrammes par centimètre quarré. L'allongement correspondant par mètre est $l = 0^m,001259$, ce qui permet de calculer le coefficient E par la relation

$$E = \frac{2.477 \times 10.000}{0,001259} = 19.674,000.000$$

Dans la figure, les charges par centimètre quarré sont représentées à raison de 1 centimètre par 1000 kilogrammes; les allongements par mètre, à une échelle décuple des allongements réels.

La rupture s'est produite sous une charge totale de $4.352 + 180 = 4.532$ qui, répartis sur $0^{cq},93$ donnent pour la charge de rupture

$$P = \frac{4.532}{0,93} = 4.873$$

l'allongement correspondant étant

$$L = 0,005493$$

Pour toutes les autres observations nous emploierons les mêmes lettres pour désigner les mêmes quantités, mais nous n'entrerons plus pour elles dans aucun détail de calcul.

La rupture de cette barre n° 1 s'étant faite dans son milieu, les chiffres que nous venons d'établir peuvent être considérés comme les valeurs exactes des différentes quantités qu'ils expriment; lorsque la rupture se fera dans la partie engagée dans les mâchoires, ils ne représenteront, quant à la rupture, que des valeurs approchées par défaut.

TABLEAU II.

Expériences du 12 mars 1861 sur une barre de tôle d'acier vif, cc, n° 1 non trempé.

Section 0,0047 × 0,0048 = 0,000022 ; distance entre les repères, 1m,635.

Charges partielles.	Charges totales.	Charges par centimètre carré.	Cotes du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Cotes du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongement total entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
»	0	»	92,20	»	782,62	»	»	»	»
96	96	436,3	91,64	0,56	781,92	0,70	0,14	0,14	0,086
96	192	872,7	91,08	0,56	781,06	0,86	0,30	0,44	0,26
96	288	1.309,1	90,48	0,60	780,12	0,94	0,34	0,78	0,477
96	384	1.745,4	89,82	0,66	779,04	1,08	0,42	1,20	0,7343
96	480	2.181.8	89,24	0,58	778,16	0,88	0,30	1,50	0,918
96	576	2.618,1	88,70	0,54	777,16	1,00	0,46	1,96	1,214
96	672	3.054,5	88,20	0,50	774,46	2,70	2,20	4,16	2,569
96	768	3.490,9	81,46	6,74	735,18	39,28	32,54	36,70	22.716
16	784	3.563,6	80,88	0,58	734,88	0,30	—0,28	36,42	22.545
16	800	3.636,3	80,14	0,74	731,56	3,32	2,58	39,00	24,155
16	816	3.709,0	80,00	0,14	729,50	2,06	1,92	40,92	25,325
16	832	3.781,8	79,48	0,52	726,34	3,16	2,64	43,56	26,978
16	848	3.854.5	79,08	0,40	724,36	1,98	1,58	45,14	27,950
16	864	4.927.2	78,52	0,56	721,00	3,36	2,80	47,94	29,684
16	880	4.000,0	78,00	0,52	718,02	2.98	2,46	50,40	31,207
16	896	4.072,0	77,54	0,46	714,46	3,56	3,10	53,50	32,721
16	912	4.145,0	76,72	0,82	710,62	3,84	3,02	56,52	34,569
16	928	4.218,0	76,08	0,64	706,54	4,08	3,44	59,96	36,672
16	944	4.291,0	75,38	0,70	702,08	4,46	3,76	63,72	38,972
16	960	4.363,0	74,64	0,74	698,00	4,08	3,34	67,06	41,137
16	976	4.436,0	73,92	0,72	693,76	4,24	3,52	70,58	43,168
16	992	4.509,0	73,16	0,72	689,32	4,44	3,68	74,26	45,419
On maintient la charge pendant 3 heures.									
0	992	4.509,0	72.30	0,86	682,22	7,10	6,24	80,50	49,235
16	1.008	4,581,0	72.30	0,00	682,12	0,10	0,10	80,60	49,296
16	1.024	4.654,0	72,30	0,00	682,00	0,12	0,12	80,72	49,370
16	1.040	4.727,0	72,20	0,10	681,88	0,12	0,02	80,74	49,382
16	1.056	4.800,0	72,16	0,04	681,78	0,10	0,06	80,80	49,419
16	1.072	4.872,0	72,12	0,04	681,70	0,08	0,04	80,84	49,443
16	1.088	4.945,0	67,24	4,88	651,36	30,34	25,46	106,30	65,015

La rupture ayant encore eu lieu au milieu de la barre, on déduit avec sécurité des chiffres de ce tableau :

$$p = 2.618 \qquad l = 0,001214$$

$$E = \frac{2.618 \times 10.000}{0,001214} = 21.565.000.000$$

$$P = \frac{1.088 + 180}{0.22} = 5.764$$

$$L = 0.06501$$

TABLEAU III.

Expériences du 8 mars 1861 sur une barre d'acier vif, cc n° 1, trempé et recuit.

Section 0,010 × 0,010 = 0,000100 ; distance entre les repères 1,615.

Charges partielles.	Charges totales.	Charges par centimètre carré.	Cotes du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Cotes du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongement total entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
0	»	»	96,26	»	805,38	»	»	»	»
96	96	96	95,86	0,40	804,96	0,42	0,02	0,02	0,012
96	192	192	95,34	0,52	804,36	0,60	0,08	0,10	0,062
96	288	288	94,80	0,54	803,76	0,60	0,06	0,16	0,099
96	384	384	94,16	0,64	803,04	0,72	0,08	0,24	0,149
96	480	480	93,54	0,62	802,34	0,70	0,08	0,32	0,198
96	576	576	92,96	0,58	801,66	0,68	0,10	0,42	0,260
96	672	672	92,38	0,58	800,78	0,88	0,30	0,72	0,446
96	768	768	92,00	0,38	800,48	0,30	—0,08	0,64	0,396
96	864	864	91,64	0,36	800,04	0,44	0,08	0,72	0,446
96	960	960	91.18	0,46	799,72	0,32	—0,14	0,58	0,359
96	1.056	1.056	90,86	0,32	799,38	0,34	0,02	0,60	0,371
96	1.152	1.152	90,60	0,26	799,10	0,28	0,02	0,62	0,384
96	1.248	1.248	90,40	0,20	798,60	0,50	0,30	0,92	0.570
96	1.344	1.344	90,18	0,22	798,28	0,32	0.10	1,02	0,631
96	1.440	1.440	90,00	0,18	798,08	0,20	0,02	1,04	0,644
96	1.536	1.536	89,78	0,22	797,80	0,28	0,06	1,10	0,681
96	*1.632	1.632	89,58	0,20	797,56	0,24	0,04	1,14	0,706
96	1.728	1.728	89,42	0,16	797,26	0.30	0,14	1,28	0,792
96	1.824	1.824	89,14	0.28	797,04	0,22	—0,06	1,22	0.755
96	*1.920	1.920	89,00	0,14	796,74	0,30	0,16	1,38	0,854
192	2.112	2.112	88,82	0,18	796,48	0,26	0,08	1,46	0,904
192	2.304	2.304	88,48	0,34	795,98	0.50	0,16	1,62	1,003
192	*2.496	2.496	88,16	0,32	795,50	0,48	0,16	1,78	1,102
192	2.688	2.688	87,82	0,34	795,10	0,40	0,06	1,84	1,139
192	2.880	2.880	87,50	0.32	794,60	0.50	0,18	2,02	1,250
192	*3.072	3.072	87,18	0,32	794,02	0,58	0,08	2,28	1,411
192	3.264	3.264	86,94	0,24	793,66	0,36	0,12	2,40	1,486
192	3.456	3.456	86,60	0,34	793,24	0,42	0,08	2.48	1,535
192	*3.648	3.648	86,18	0,42	792,70	0,54	0,12	2,60	1,609
192	3.840	3.840	85,94	0,24	792,20	0,50	0,26	2,86	1,770
192	4.032	4.032	85,64	0,30	791,78	0,42	0,12	2,98	1,845
192	4.224	4.224	85,32	0,32	791,24	0,54	0,22	3,20	1,981
192	*4.416	4.416	85,00	0,32	790,70	0,54	0,22	3,42	2,117
192	4.608	*4.608	84,72	0,28	790,24	0,46	0,18	3,60	2,229
192	4.800	4.800	84,36	0,36	789,72	0,52	0,16	3,76	2,315
192	4.992	4.992	84,02	0,34	789,24	0,48	0,14	3,90	2,414
192	*5.184	5.184	83,72	0,30	788,72	0,52	0,22	4,12	2,550
192	5.376	5.376	83,38	0,34	788,30	0,42	0,08	4,20	2,600
192	5.568	5.568	82,96	0,42	787,72	0,58	0,16	4,36	2,699
192	5.760	5.760	82,66	0,30	787,24	0,48	0,18	4,54	2,811
192	5.952	5.952	82,34	0,32	786,74	0,50	0,18	4,72	2,910
192	*6.144	6.144	81,96	0,38	786,00	0,74	0,36	5,08	3,145
On maintient cette charge pendant 5 minutes.									
192	6.144	6.144	81,92	0,04	785.94	0,06	0,02	5,10	3,157
192	6.336	6.336	81,82	0,10	785,80	0,14	0,04	5,14	3,182
192	*6.528	6.528	81,52	0,30	785,26	0,54	0,24	5,38	3,331
On maintient cette charge pendant 5 minutes.									

TABLEAU III (*suite*).

Charges partielles.	Charges totales.	Charges par centimètre carré.	Cotes du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Cotes du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongement total entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
192	6.528	6.528	81,42	0,10	785,12	0,14	0,04	5,42	3,356
192	6.720	6.720	81,12	0,30	784,50	0,62	0,32	5,74	3,554
	On maintient cette charge pendant 5 minutes.								
192	6.720	6.720	80,08	0,04	784,32	0,18	0,14	5,88	3,640
192	6.912	6.912	80,82	0,26	783,72	0,60	0,34	6,22	3,851
192	6.912	6.912	80,74	0,08	783,46	0,26	0,18	6,40	3,962
192	7.104	7.104	80,44	0,30	782,72	0,74	0,44	6,84	4,234
192	7.296	7.296	80,06	0,38	781,54	1,18	0,80	7,64	4,730
192	7.488	7.488	Le plateau touche le sol.			»	»	»	»
	On décharge complétement :								
—7488	0	»	92,94	—12,88	800,00	—18,46	—5,58	2,06	1,275
	Ou recharge après avoir relevé le point de suspension :								
+8640	8.640 rupture.								

Cette rupture s'étant produite à l'écrou inférieur, les valeurs calculées de P et de L ne devront être considérées que comme approximatives ; les divers éléments de la résistance se calculent d'ailleurs ainsi qu'il suit :

$$p = 6.528 \qquad l = 0{,}00331$$

$$E = \frac{6.528 \times 10.000}{0{,}00331} = 19.598.000.000$$

$$P = 8.640 + 180 = 8.820$$

$$L = 0{,}00473.$$

On voit déjà combien la limite d'élasticité est reculée par l'influence de la trempe, bien que le coefficient d'élasticité soit peu modifié.

TABLEAU IV.

Expériences du 27 mars 1861 sur une barre d'acier vif CC *n° 1, trempé et recuit.*

Section $0{,}005 \times 0{,}005 = 0{,}000025$; distance entre les repères $1^m{,}658$.

Charges partielles.	Charges totales.	Charges par centimètre quarré.	Cotes du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Cotes du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongement total entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
0	0		369.36		798,00				
128	128	512	368,70	0,66	796.80	1,20	0,54	0,54	0,325
128	256	1.020	367,92	0,78	795,68	1,12	0,34	0,88	0,530
128	384	1.536	367,02	0,98	794,36	1,32	0,42	1,30	0,784
128	512	2.048	366,28	0,74	793,08	1,28	0,54	1,84	1,109
128	640	2.560	365,80	0,48	792,20	0,88	0,40	2,24	1,351
128	768	3.072	365,20	0,60	791,16	1,04	0,44	2,68	1,616
128	896	3.584	363,42	1,78	788,90	2,26	0,58	3,16	1,906
128	1.024	4.098	361,94	1,48	786,40	2,50	1,02	4,30	2,593
32	1.056	4.224	360,82	1,12	785,34	1,06	—0,06	4,12	2,485
32	1.088	4.352	359,78	1,04	784,00	1,34	0,30	4,42	2,661
32	1.120	4.480	358,42	1,36	782,48	1,52	0,16	4,58	2,762
16	1.136	4.544	357,12	1,30	781,04	1,44	0,14	4,72	2,846
16	1.152	4.608	356.70	0,42	780,58	1,46	0,04	4,76	2,877
16	1.168	4.672	356,08	0,62	779,90	0,68	0,06	4,82	2,907
16	1.184	4.736	355,10	0,98	778,68	1,22	0,24	5,06	3,052
16	1.200	4.800	354,00	1,10	777,50	1,18	0,08	5,14	3,100
16	1.216	4.864	352,62	1,38	776,00	1,50	0,12	5,26	3,172
16	1.232	4.928	351,40	1,22	773,84	2,16	0,94	6,20	3,739

La rupture s'est produite lors de cette dernière charge, à laquelle il faut ajouter 180 kilogrammes pour tenir compte du poids du plateau.

D'après ces données et en limitant la période de complète élasticité à la charge de 3,584 kilogrammes, on trouve pour cette barre :

$$p = 3.584 \qquad l = 0{,}001906$$

$$E = \frac{3.584 \times 10.000}{0{,}001906} = 18.800.000.000$$

$$P = \frac{1.232 + 180}{0{,}000025} = 5.648$$

$$L = 0{,}00374$$

Cette influence de la trempe a, d'après nos expériences, son caractère principal dans la différence entre les allongements qui correspondent à la rupture, et pour l'une des barres seulement, dans une augmentation considérable de la charge maxima.

Les allongements, qui étaient de $0^m,055$ et de $0^m,065$ par mètre pour les deux barres non trempées, sont réduits à 0,00374 et à 0,00473, et cette circonstance suffit pour expliquer la fragilité de certains aciers : la résistance vive de rupture, malgré l'augmentation de la charge maxima, se trouve réduite dans l'un de ses facteurs au huitième de la valeur qu'elle a, pour les aciers non trempés : un choc aura nécessairement plus d'effet sur l'acier qui aura été trempé.

Ces différences ne sont pas moins tranchées dans les essais faits sur l'acier qui nous a été désigné comme acier doux.

TABLEAU V.

Expériences du 6 mars 1861 sur une barre de tôle d'acier doux, ce n° 2, non trempé.

Section, 0,01 × 0,01 = 0,0001; distance entre les repères, $1^m,496$.

Charges partielles.	Charges totales.	Charges par centimètre quarré.	Cotes du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Cotes du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongement total entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
0	»	»	81,04	»	915,48	»	»	»	»
96	96	96	80,52	0,52	914,92	0,56	0,04	0,04	0,027
96	192	192	80,04	0,48	914,38	0.54	0,06	0,10	0,067
96	288	288	79,52	0,52	913,72	0,66	0,14	0,24	0,160
96	384	384	79,02	0,50	913,08	0,64	0,14	0,38	0,254
96	480	480	78,44	0,58	912,50	0,58	0,00	0,38	0,254
96	576	576	77,90	0,54	911,90	0,60	0,06	0,44	0,294
96	672	672	77,58	0,32	911,38	0,52	0,20	0,64	0,428
96	768	768	77,20	0,38	910,92	0,46	0,08	0,72	0,481
96	864	864	76,84	0,36	910.44	0,48	0,12	0,84	0,561
96	960	960	76,52	0,32	910,04	0,40	0,08	0,92	0,615
96	1.056	1.056	76,28	0,24	909,74	0.30	0,06	0,98	0,655
96	1.152	1.152	76,04	0,24	909,44	0,30	0,06	1,04	0.695
96	1.248	1.248	75,80	0,24	909,18	0,26	0,02	1,06	0,709
96	1.344	1.344	75,56	0,24	908,86	0,32	0,08	1,14	0,762

TABLEAU V (*suite*).

Charges partielles.	Charges totales.	Charges par centimètre quarré.	Cotes du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Cotes du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongement total entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
96	1.440	1.440	75,28	0,28	908,48	0,38	0,10	1,24	0,828
96	1.536	1.536	75,14	0,14	908,18	0,30	0,16	1,40	0,935
96	1 632	1,632	74,96	0,18	907,92	0,26	0,08	1,48	0,989
96	1.728	1.728	74,72	0,24	907,60	0,32	0,08	1,56	1,042
96	1,824	1.824	74,50	0,22	907,32	0,28	0,06	1,62	1,083
96	1.920	1.920	74,28	0.22	907,10	0,22	0,00	1,62	1.083
96	2.016	2.016	74.10	0,18	906,84	0,26	0,08	1,70	1,136
192	2.208	2.208	73,76	0,34	906,28	0,56	0,22	1,92	1,283
192	2.400	2.400	73,34	0,42	905,70	0,58	0,16	2,08	1,390
192	2.592	2.592	72,96	0,38	905,18	0,52	0,14	2,22	1,483
192	2.784	2.784	72,46	0,50	904,46	0,72	0,22	2,44	1,631
192	2.976	2.976	71,56	0,90	902,36	2.10	1,20	3,64	2,433
192	3.168	3,168	67,02	4,54	890,20	12,16	7,62	11,26	7,526
192	3.360	3.360	65,28	1,74	882,06	8,14	6,40	17,66	12,473
192	3.552	3.552	63,48	1,80	876,56	5,50	3,70	21,36	14,278
192	3.744	3.744	61.64	1,84	871,10	5,46	3,62	24,98	16,697
192	3.936	3.936	57,82	3,82	863,62	7,48	3,66	28,64	19,145
192	4.128	4.128	54,70	3,12	856,00	7,62	4,50	33,14	22,152
192	4.320	4.320	50,74	3,96	846,50	9,50	5,54	38,68	25,855
192	4.512	4 512	46,72	4,02	836,76	9,74	5,72	44,40	29,679
192	4.704	4.704	41,76	4,96	824,50	12,26	7,30	51,70	34,558
192	4.896	4.896	Rupture dans les filets de l'écrou supérieur. On refait l'assemblage et on replace la barre.						
5.916	5.916	5.916	Rupture dans les filets de l'écrou supérieur.						

Les chiffres calculés d'après ces expériences devront être considérés comme trop faibles. Sous la réserve de cette observation, on trouve successivement :

$$p = 2.400 \qquad l = 0{,}001390$$

$$E = \frac{2.400 \times 10.000}{0{,}001390} = 17.273.000.000$$

$$P = 5.916 + 180 = 6.096$$

$$L = 0{,}034558$$

TABLEAU VI.

Expériences du 15 mars 1861 sur une barre en tôle d'acier doux cc, *n° 2, non trempé.*

Section, 0,0047 × 0,0048 = 0,000022 ; distance entre les repères : 1^m,662.

Charges partielles.	Charges totales.	Charges par centimètre quarré.	Cotes du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Cotes du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongement total entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
0	»	»	89,00	»	753,62	»	»	»	»
96	96	436	88,30	0,70	752,40	1,22	0,52	0,52	0,313
96	192	872	87,50	0,80	751,14	1,26	0,46	0,98	0,590
96	288	1.309	86,66	0,84	749,72	1,42	0,58	1,56	0,939
99	384	1.745	86,02	0,64	748,40	1,32	0,68	2,24	1,348
96	480	2.181	85,28	0,74	745,42	3,98	3,24	5,48	3,297
96	576	2.618	82,56	0,72	727,56	17,86	14,14	19,62	11,805
16	592	2.690	82,32	0,24	727,26	0,30	0,06	19,68	11,841
16	608	2.764	82,08	0,24	725,82	1,44	1,20	20,88	12,563
16	624	2.836	81,80	0,28	724,36	1,46	1,18	22,06	13,273
16	640	2.909	81,48	0,32	722,48	1,88	1,66	23,62	14,211
16	656	2.982	81,34	0,14	721,18	1,30	1,16	24,78	14,789
16	672	3.054	81,00	0,34	719,46	1,72	1,38	26,16	15,740
16	688	3.127	80,72	0,28	717,82	1,64	1,36	27,52	16,558
16	704	3.200	80,52	0,20	716,72	1,10	0,90	28,42	17,100
16	720	3.272	80,28	0,24	714,90	1,82	1,58	30,00	18,050
16	736	3.345	79,96	0,32	712,80	2,10	1,78	31,78	19,121
16	752	3.418	79,58	0,38	711,00	1,80	1,42	33,20	19,976
16	768	3.490	79,44	0,14	708,96	2,04	1,90	35,10	21,113
16	784	3.563	79,00	0,44	706,32	2,64	2,20	37,30	22,442
16	800	3.636	78,72	0,28	704,80	1,52	1,24	38,54	23,188
16	816	3.709	78.42	0,30	702,84	1,96	1,66	40,20	24,187
16	832	3.781	78,06	0,36	700,30	2,54	2,18	42,38	25,499
16	848	3.854	77,78	0,28	698,28	2,02	1,74	44,12	26,546
16	864	3.927	77,32	0,46	695,04	3,24	2,78	46,90	28,219
16	880	4.000	76,96	0,36	692,44	2,60	2,24	49,14	29,567
16	896	4.072	76,56	0,40	689,88	2,46	2,16	51,30	30,867
16	912	4.145	76,12	0,44	686,08	3,80	3,36	54,66	32,888
16	928	4.218	75,78	0,34	683,30	2,78	2,44	57,10	34,356
16	944	4.290	75,30	0,48	679,62	3,68	3,20	60,30	37,284
16	960	4.363	74,78	0,52	676,00	3,62	3,10	63,40	38,146
16	976	4.436	74,38	0,40	672,02	3,98	3,58	66,98	40,300
16	992	4.509	73,90	0,48	667,50	4,52	4,04	71,02	42,731
16	1.008	4.545	73,52	0,38	664,04	3.46	3,08	74,10	44,585

A cette dernière charge, la rupture s'est produite au milieu de la barre.

Les observations sont parfaitement concordantes et les résultats se traduisent par les valeurs suivantes des divers coefficients :

$$p = 1.745 \qquad l = 0{,}0013477$$

$$E = \frac{1.745 \times 10.000}{0{,}0013477} = 12.947.000.000$$

$$P = \frac{1.008 + 180}{0{,}22} = 5.400 \qquad L = 0{,}07410$$

TABLEAU VII.

Expériences du 18 mars 1861 sur une barre de tôle d'acier doux, cc *n° 2, trempé et recuit.*

Section, 0,010 × 0,0092 = 0,000092 ; distance entre les repères, 1.391

Charges partielles.	Charges totales.	Charges par centimètre quarré.	Cotes du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Cotes du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongement total entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
0	»	»	911,88	»	911,62	»	»	»	»
128	128	139	911,26	0,62	910,98	0,64	0,02	0,02	0,014
128	256	278	910,56	0,70	910,30	0,68	—0,02	0,00	»
128	384	417	909,72	0,84	909,44	0,86	0,02	0,02	0,014
128	512	556	909,16	0,56	908,70	0,74	0,18	0,20	0,144
128	640	695	908,70	0,46	908,04	0,66	0,20	0,40	0,286
128	768	834	908,22	0,48	907,52	0,52	0,04	0,44	0,316
128	896	974	907,92	0,30	906,90	0,62	0,32	0,76	0,546
128	1·024	1·113	907·62	0,30	906,48	0,42	0,12	0,88	0,633
128	1·152	1·252	907,24	0,38	906,12	0,36	—0,02	0,86	0,618
128	1·280	1·391	906,92	0,32	905,76	0,36	0,04	0,90	0,647
128	1·408	1·530	906,68	0,24	905,36	0,40	0,16	1,06	0,762
128	1·536	1·669	906,44	0,24	905,00	0,36	0,12	1,18	0,848
128	1·664	1·808	906,22	0,22	904,64	0,36	0,14	1,32	0,949
128	1·792	1·947	905,96	0,26	904,24	0,40	0,14	1,46	1,050
128	1·920	2·087	905,72	0,24	903,92	0,32	0,08	1,54	1,107
128	2·048	2·226	905,50	0,22	903,54	0,38	0,16	1,70	1,222
128	2·176	2·365	905,34	0,16	903,20	0,34	0,18	1,88	1,351
128	2·304	2·504	905,10	0,24	902,96	0,24	0,00	1,88	1,351
128	2·432	2·643	904,84	0,26	902,62	0,34	0,08	1,96	1,409
128	2·560	2·782	904,66	0,18	902,32	0,30	0,12	2,08	1,495
128	2·688	2·921	904,48	0,18	902,12	0,20	0,02	2,10	1,509
128	2·816	3·060	904,24	0,24	901,78	0,34	0,10	2,20	1,581
128	2·944	3·200	904,02	0,22	901,48	0,30	0,08	2,28	1,639
128	3·072	3·339	903,84	0,18	901,12	0,36	0,18	2,46	1,768
128	3·200	3·478	903,64	0,20	900,88	0,24	0,04	2,50	1,797
128	3·328	3·617	903,46	0,18	900,60	0,28	0,10	2,60	1,869
128	3·456	3·756	903,24	0,22	900,30	0,30	0,08	2,68	1,926
128	3 584	3·895	903,04	0,20	900,00	0,30	0,10	2,78	1,998
128	3·712	4·034	902,74	0,30	899,80	0,20	—0,10	2,68	1,926
128	3·840	4·173	902,60	0,14	899,48	0,32	0,18	2,86	2,056
128	3·968	4·313	902,40	0,20	899,18	0,30	0,10	2,96	2,128
128	4·096	4·452	902,24	0,16	898,88	0,30	0,14	3,10	2,228
128	4·224	4·588	902,04	0,20	898,56	0,32	0,12	3,22	2,314
128	4·352	4·730	901,86	0,18	898,24	0,32	0,14	3,36	2,415
128	4·480	4·869	901,68	0,18	897,96	0,28	0,10	3,46	2,487
128	4·508	4.900	901,46	0,22	897,70	0,26	0,04	3,50	2,516
128	4·736	5.147	901,28	0,18	897,42	0,28	0,10	3,60	2,588
128	4·864	5.287	901,10	0,18	897,16	0,26	0,08	3,68	2,645
128	4.992	5.426	900,94	0,16	896,92	0,24	0,08	3,76	2,703
128	5.120	5.564	900,76	0,18	896,62	0,30	0,12	3,88	2,789
128	5.248	5.704	Rupture dans une section présentant une paille.						

L'étendue du défaut était telle que l'on ne saurait attacher aucune signification aux coefficients relatifs à la rupture : il est très-remarquable qu'en ce qui con-

cerne la limite d'élasticité, les indications suivantes concordent avec celles qui ont été observées sur deux autres échantillons du même acier :

$$p = 5.564 \qquad l = 0.002789$$

$$E = \frac{5.564 \times 10000}{0,002789} = 19.949.000.000$$

TABLEAU VIII.

Expériences du 10 mai 1861 sur une pareille barre d'acier doux, ce n° 2, trempé et recuit.

Section $0,01 \times 0,01 = 0,0001$; distance entre les repères $1^m,515$.

Charges partielles.	Charges totales.	Charges par centimètre quarré.	Côtes du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Côtes du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongements totaux entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
0	0	0	501,92		800,84				
192	192	192	501,44	0,48	799,82	1,02	0,54	0,54	0,356
192	384	384	500,58	0,86	798,82	1,00	0,14	0,68	0,449
192	576	576	499,86	0,72	797,96	0,86	0,14	0,82	0,541
192	768	768	499,34	0,52	797,26	0,70	0,18	1,00	0,660
192	960	960	498,74	0,60	796,70	0,56	—0,04	0,96	0,634
192	1.152	1.152	498,36	0,38	796,24	0,46	0,08	1,04	0,686
192	1.344	1.344	497,96	0,40	795,70	0,54	0,14	1,18	0,779
192	1.536	1.536	497,54	0,42	795,18	0,52	0,10	1,28	0,845
192	1.728	1.728	497,32	0,22	794,68	0,50	0,28	1,56	1,030
192	1.920	1.920	496,86	0,46	794,12	0,56	0,10	1,66	1,096
192	2.112	2.112	496,26	0,60	793,64	0,48	—0,12	1,54	1,016
192	2.304	2.304	495,96	0,30	793,16	0,48	0,18	1,72	1,135
192	2.496	2.496	495,62	0,34	792,66	0,50	0,16	1,88	1,241
192	2.688	2.688	495,32	0,30	792,24	0,42	0,12	2,00	1,320
192	2.880	2.880	495,04	0,28	791,78	0,46	0,18	2,18	1,439
192	3.072	3.072	494,72	0,32	791,38	0,40	0,08	2,26	1,491
192	3.264	3.264	494,38	0,34	790,84	0,54	0,20	2,46	1,623
192	3.456	3.456	494,12	0,26	790,38	0,46	0,20	2,66	1,755
192	3.648	3.648	493,76	0,36	790,00	0,38	0,02	2,68	1,769
192	3.840	3.840	493,52	0,24	789,54	0,46	0,22	2,90	1,914
192	4.032	4.032	493,22	0,30	789,16	0,38	0,08	2,98	1,962
192	4.224	4.224	492,94	0,28	788,76	0,40	0,12	3,10	2,046
192	4.416	4.416	492,62	0,32	788,16	0,60	0,28	3,38	2,231
192	4.608	4.608	492,32	0,30	787,84	0,32	0,02	3,40	2,244
192	4.800	4.800	492,04	0,28	787,44	0,40	0,12	3,52	2,323
192	4.992	4.992	491,80	0,24	787,04	0,40	0,16	3,68	2,429
192	5.184	5.184	491,52	0,28	786,60	0,44	0,16	3,84	2,534
192	5.376	5.376	491,28	0,24	786,08	0,52	0,28	4,12	2,719
192	5.568	5.568	491,00	0,28	785,68	0,40	0,12	4,24	2,796
192	5.760	5.760	490,74	0,26	785,30	0,38	0,12	4,36	2,877
192	5.952	5.952	490,44	0,30	784,86	0,44	0,14	4,50	2,970
192	6.144	6.144	490,16	0,28	784.42	0,44	0,16	4,66	3,075
192	6.336	6.336	489,86	0,30	783,96	0,46	0,16	4,82	3,181
192	6.528	6.528	489,66	0,20	783,44	0,52	0,32	5,14	3.392
192	6.720	6.720	489,28	0,38	782,80	0,64	0,26	5,40	3,564
192	6.912	6.912	488,94	0,34	782,06	0,74	0,40	5,80	3,828

TABLEAU VIII (*suite*).

Charges partielles.	Charges totales.	Charges par centimètre quarré.	Côtés du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Côtés du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongement total entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
96	7.104	7.104	488,44	0,50	780,94	1,12	0,62	6,42	4,237
96	7.200	7.200	487,84	0,60	780,10	0,84	0,24	6,66	4,392
96	7.296	7.296	487,16	0,68	779,04	1,06	0,38	7,04	4,647
96	7.392	7.392	486,52	0 64	778,04	1,00	0,36	7,40	4.884
96	7.488	7.488	485,76	0,76	776,90	1,14	0.38	7,78	5,135
96	7.584	7.581	485,00	0,76	776,16	0,74	—0,02	7,76	5,122
96	7.680	7.680	484,62	0,38	775,18	0,98	0,60	8,36	5,518
96	7.776	7.776	483,84	0,78	773,98	1,20	0,42	8,78	5,795
96	7.872	7.872	483,00	0,84	772,90	1,08	0,24	9,02	5,953
96	7.968	7.968	481,72	1,28	771,40	1,50	0,22	9,24	6,099
96	8.064	8.064	477,12	4,60	766,38	5,02	0,42	9,66	6,376
96	8.160	8.160	Rupture au milieu de la barre.						

Cette expérience, qui est très-satisfaisante dans toutes ses parties, conduit aux valeurs :

$$p = 7.200 \qquad l = 0,003392$$

$$E = \frac{7.200 \times 10000}{0,003392} = 21.227.000.000$$

$$P = 8.160 + 180 = 8.340$$

$$L = 0,006376$$

Nous retrouvons ici les mêmes indications que pour l'acier vif, quant à l'influence de la trempe. Quoique le coefficient d'élasticité ne soit pas sensiblement modifié, la charge de rupture atteint une limite excessivement élevée, et la période d'élasticité se prolonge aussi jusqu'à une charge très-considérable.

TABLEAU IX.

Expériences du 26 mars 1861 sur une barre de tôle d'acier doux, ce n° 2, trempé et recuit.

Section, 0,005 × 0,005 = 0,000025; distance entre les repères : 1,661.

Charges partielles.	Charges totales.	Charges par centimètre carré.	Cotes du repère supérieur.	Abaissements en millimètres.	Cotes du repère inférieur.	Abaissements en millimètres.	Allongements dus à la dernière charge.	Allongement total entre les repères.	Allongements en millimètres par mètre.
0	»	»	356,92	»	777,00	»	»	»	»
128	128	512	356,28	0,64	776,00	1,00	0,36	0,36	0,217
128	256	1.024	355,56	0,72	774,84	1,16	0,44	0,80	0,482
128	384	1.536	354,74	0,82	773,58	1,26	0,44	1,24	0,747
128	512	2.048	353,96	0,78	772,38	1,20	0,42	1,66	1,000
128	640	2.560	353,26	0,70	771,36	1,02	0,32	1,98	1,192
128	768	3.072	352,92	0,34	770,34	1,02	0,68	2,66	1,601
128	896	3.584	352,40	0,52	769,48	0,86	0,34	3,00	1,806
128	1.024	4.096	352,00	0,40	768,62	0,86	0,46	3,46	2,083
128	1.152	4.608	351,48	0,52	767,68	0,94	0,42	3,88	2,336
128	1.280	5.120	351,08	0,40	766,74	0,94	0,54	4,42	2,661
128	1.408	5.632	350,58	0,50	765,88	0,86	0,36	4,78	2,878
128	1.536	6.144	350,00	0,58	764,62	1,06	0,48	5,26	3,167
128	1.664	6.656	349,28	0,72	763,68	1,14	0,42	5,68	3,420
128	1.792	7.168	348,08	1,90	762,00	1,68	0,48	6,16	3,742
128	1.920	7 680	345,50	2,58	758,70	3,30	0,72	6,88	4,142
96	2.016	8.064	Rupture au milieu de la barre.						

Les indications sont très-concordantes avec celles qui ont été déduites de l'expérience précédente sur une barre d'une plus grande section, et elles se résument ainsi qu'il suit :

$$p = 7.680 \qquad l = 0{,}004142$$

$$E = \frac{7.608 \times 10000}{0{,}004142} = 1.8542$$

$$P = \frac{2.016 + 180}{0{,}25} = 8.784$$

$$L = 0{,}004142$$

Si nous comparons maintenant les résultats des expériences 5 et 6 à ceux des expériences 8 et 9 sur l'acier trempé, nous voyons que la résistance à la rupture augmente en moyenne de 57 à 85 par l'effet de la trempe, suivie d'un recuit, et qu'en même temps la limite d'élasticité étant beaucoup éloignée, et les allongements ne cessant pas, pour ainsi dire, de rester proportionnels aux charges, on n'a, en définitive, qu'un allongement de rupture extrêmement faible : 6 et 4 millimètres, au lieu des 34 et 44 millimètres que les mêmes aciers ont supportés, lorsqu'ils n'étaient ni trempés ni recuits.

Afin de mieux apprécier dans leur ensemble les nombreux résultats de ces expériences, nous en avons formé le tableau suivant, qui, à certains égards, complète les données que les tracés graphiques n'expliqueraient pas d'une manière assez concluante.

Tableau général des expériences sur la résistance des tôles d'acier fondu pour chaudière.

DÉSIGNATION des échantillons.	SECTIONS.	Charge par centimètre carré correspondant à la limite d'élasticité *p*.	Allongement correspondant par mètre *l*.	Coefficient d'élasticité E.	Charge des ruptures par centimètre carré P.	Allongement de rupture L.	CIRCONSTANCES de la rupture.
TABLEAU N° 1. — *Acier dit vif.*							
Non trempé n° 1	0,000100	2.477	0,001259	19.674	4. 873	54,93	au milieu.
Non trempé n° 2	0,000022	2.618	0,001214	21.565	5. 764	65,00	au milieu.
Trempé . . . n° 3	0,000100	6. 528	0,003331	19.598	8. 880	4,73	à l'écrou.
Trempé . . . n° 4	0,000025	3. 584	0,001906	18. 800	5. 648	3,74	au milieu.
TABLEAU N° 2.— *Acier désigné sous le nom d'acier doux.*							
Non trempé n° 5	0,000100	2. 400	0,001390	17. 273	6 096	34,56	dans les filets.
Non trempé n° 6	0,000022	1. 745	0,0013477	12.947	5. 400	44,58	au milieu.
Trempé . . . n° 7	0,000092	5. 564	0,002789	19.949	»	»	une paille.
Trempé . . . n° 8	0,000100	7. 200	0,003392	21.227	8. 340	6,38	au milieu.
Trempé . . . n° 9	0, 000025	7. 680	0,004142	18. 542	8. 784	4,14	au milieu.

Considérés dans leur ensemble, les résultats de ces expériences donnent lieu aux observations suivantes :

1° Les aciers désignés sous le nom d'aciers doux n'ont supporté qu'un allongement maximum de 44 millimètres par mètre avant la trempe, tandis que les aciers désignés comme vifs se sont un peu mieux comportés sous ce rapport.

Le plus grand allongement de rupture ne dépasse pas cependant 65 millimètres par mètre, ou un quinzième.

2° Les coefficients d'élasticité de tous ces aciers diffèrent très-peu les uns des autres; on peut calculer leur valeur moyenne ainsi qu'il suit :

Aciers vifs avant la trempe.	20,764	Aciers doux avant la trempe.	17,273(a)
Aciers vifs après la trempe.	19,199	Aciers doux après la trempe.	19,906

Et de ces chiffres on doit conclure que la trempe suivie du recuit ne modifie pas sensiblement le coefficient d'élasticité des aciers.

3° Les charges qui correspondent à la limite d'élasticité sont en moyenne les suivantes :

Aciers vifs non trempés. . .	2,532	Aciers doux non trempés. . .	2,400
Aciers vifs trempés et recuits.	5,056	Aciers doux trempés et rec.	7,440

L'augmentation résultant de la trempe suivie d'un recuit est manifeste ; la charge limite est doublée pour les aciers vifs ; triplée même pour les aciers doux, si l'on rejette l'expérience n° 7, qui a constaté une cause accidentelle de rupture, avant l'altération de l'élasticité.

4° Les derniers allongements élastiques sont :

Aciers vifs non trempés. . .	1,236	Aciers doux non trempés. . .	1,368
Aciers vifs trempés.	2,618	Aciers doux trempés.	3,767

Les conséquences sont les mêmes que pour les charges correspondant à la limite d'élasticité : ce qui, du reste, peut être regardé comme une conséquence de ce que nous ne considérons, dans l'un et l'autre cas,

(a) Nous laissons de côté dans cette évaluation le résultat anormal de l'expérience n° 6.

les charges et les allongements que dans les limites dans lesquelles ils restent proportionnels.

5° Les résistances vives d'élasticité n'étant autre chose que la mesure du travail à dépenser pour vaincre l'élasticité de la pièce, cette résistance vive est nécessairement mesurée par la somme des produits partiels que l'on obtiendrait en multipliant chaque effort par l'allongement qu'il détermine, produits qui sont totalisés par l'aire de chacun de nos tracés, compris depuis l'origine, jusqu'à la dernière ordonnée pour laquelle les allongements sont proportionnels aux charges,

Dans cette limite, chacun des facteurs augmente dans le même rapport, et la résistance vive d'élasticité croît comme le quarré de l'une de ces quantités.

La résistance vive d'élasticité est quadruplée par la trempe et le recuit pour les aciers vifs; elle est augmentée dans le rapport de 9 à 1 pour les aciers doux.

Cette influence de la trempe est extrêmement remarquable.

Si au point de vue de l'emploi de l'acier fondu pour les tôles de chaudières nous en cherchons la valeur absolue avant la trempe, le tracé graphique nous montre encore qu'elle est mesurée pour les aciers vifs par le produit $\frac{2532 \times 0{,}001236}{2} = 15{,}64$ kilogrammètres par centimètre quarré pour les aciers vifs, et pour les aciers doux par $\frac{2400 \times 0{,}001368}{2} = 16{,}41$ kilogrammètres.

Ces valeurs sont moindres que celles auxquelles conduisent les mêmes considérations pour les bons fers.

6° Nous avons déjà remarqué que par l'effet de la trempe le coefficient de rupture était augmenté dans

une grande proportion, et des chiffres de l'expérience n° 3, on pourrait conclure que cette modification est peu différente pour les deux sortes d'aciers : la rupture ne s'est plus produite que sous une charge par centimètre quarré de 85 kilogrammes en moyenne, au lieu de 60.

7° La différence est encore plus frappante en ce qui concerne l'allongement qui correspond à la rupture.

Acier vif non trempé.	59,96	Acier doux non trempé. . . .	39,57
Acier vif trempé et recuit. .	3,73	Acier doux trempé et recuit.	5,26

Cette différence forme en quelque sorte la propriété la plus caractéristique de la trempe.

8° L'observation des allongements de rupture nous permet de donner des indications assez précises sur la valeur de la résistance vive de rupture.

Il suffit, pour cela, de déterminer l'aire de chacun de nos tracés jusqu'à son point extrême.

Nous trouvons ainsi, pour une section de 1 mètre quarré :

DÉSIGNATION des échantillons.	RÉSISTANCE VIVE de rupture.	DÉSIGNATION des échantillons.	RÉSISTANCE VIVE de rupture.
1	2.228.216 km.	5	2.502.784 km.
2	2.651.144	6	1.473.208
3	497.032	8	360.280
4	107.880	9	190.672

Et nous voyons par les premiers de ces chiffres que la résistance vive est également moindre pour ces aciers que pour certains fers.

Dans la construction des chaudières à vapeur la résistance vive de rupture nous paraît l'élément le plus important à considérer, et sous ce rapport les tôles douces présentent sans aucun doute de grands avantages. Nous regrettons que les tôles d'acier fondu sur

lesquelles ont porté nos expériences n'aient pas donné sous ce rapport autant de satisfaction, que sous celui de leur coefficient de rupture, considéré isolément.

Toujours est-il que la tôle d'acier fondu présente d'une manière absolue cet avantage de ne pas se dédoubler à l'usage, comme la plupart des tôles douces : c'est là, sans doute, ce qui peut faire leur succès, qu'on ne saurait raisonnablement faire reposer aujourd'hui sur leurs coefficients de résistance, que si l'on parvenait à les rendre assez douces, pour augmenter dans une notable proportion leurs allongements de rupture.

Afin de mettre en évidence les irrégularités que nos expériences comportent, nous avons reproduit à une échelle plus grande, dans les *fig.* 3 et 4, la partie de chacune des courbes, qui avoisine l'origine des coordonnées : on reconnaîtra par ces tracés à grande échelle que les irrégularités sont peu importantes, et que par conséquent elles n'entachent en rien les conséquences auxquelles nous sommes arrivés.

RAPPORT

ADRESSÉ A SON EXCELLENCE LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS SUR LES BARRAGES CONSTRUITS A TITRE D'ESSAI DANS LA VALLÉE DE BARCELONNETTE, POUR EMPÊCHER LES RAVAGES TORRENTIELS.

Par M. S. GRAS, ingénieur en chef des mines.

Avant d'entrer dans des détails sur l'emplacement et le mode de construction des barrages qui sont l'objet de ce rapport et sur les résultats déjà obtenus, nous croyons nécessaire de rappeler en peu de mots et d'une manière précise quelles sont les idées théoriques auxquelles l'essai tenté est destiné à donner la sanction de l'expérience.

Une observation constante a prouvé qu'en général, lorsqu'un torrent débordait dans les Alpes, c'était parce que les eaux avaient charrié pendant la durée d'une crue, quelquefois très-courte, une quantité considérable de gravier qui, en se déposant, comblait l'intérieur des digues et les rendait inutiles. Cela arrive ordinairement après les pluies d'orage : il se forme alors des agglomérations énormes d'eau et de matières de transport. Un autre fait non moins certain, c'est que toutes les fortes crues ne sont pas suivies de débordement. Il en est qui, bien que très-violentes, amènent beaucoup plus d'eau que de cailloux ; elles creusent le lit au lieu de l'exhausser et produisent des affouillements assez souvent nuisibles parce que les fondations des travaux de défense sont mises à découvert. Elles

sont produites par des pluies d'une intensité ordinaire mais d'une longue durée, ou bien par la fonte des neiges à chaque printemps. Il est clair que si, par des travaux d'art, on parvenait à compenser les uns par les autres les effets opposés de ces deux espèces de crues, de manière à créer pour le torrent un régime moyen, on aurait réalisé par le fait même une grande amélioration; car on éviterait à la fois les débordements dus aux exhaussements subits et les inconvénients occasionnés par les affouillements profonds. Il faudrait donc, d'un côté, retenir dans le sein des montagnes la plus grande partie des cailloux que les pluies d'orage font descendre tout à la fois dans la plaine; et de l'autre faire transporter ces cailloux successivement et en détail par les crues qui ont pour caractère principal d'être affouillantes; en un mot, il faudrait *régulariser* le transport des matières charriées.

De grands barrages établis transversalement au cours des torrents en amont des lieux qu'il s'agit de protéger et dans l'intérieur des vallons profondément encaissés que les eaux torrentielles parcourent avant de déboucher dans les plaines, nous ont paru éminemment propres à atteindre ce but. En effet, à la rencontre de ces barrages, les grandes masses d'eau et de cailloux qui descendent après les pluies d'orage sont obligées de se diviser et de s'étaler, ce qui provoque le dépôt de la plus grande partie des matières transportées; puis lorsqu'il survient des crues principalement aqueuses, les eaux s'encaissent dans le sein de ces matières, les attaquent et les entraînent peu à peu. Il est même à remarquer que ces affouillements occupent une plus large surface sur les points où il y a des barrages qu'ailleurs, parce que là, l'érosion étant promptement limitée dans le sens vertical, s'exerce latéralement

avec plus d'énergie. Il est d'ailleurs évident que si l'on établit plusieurs barrages successifs, leurs effets s'ajouteront et que le résultat qu'il s'agit d'obtenir en sera bien plus assuré. On pourra donc toujours proportionner le remède à la grandeur des difficultés que l'on aura à vaincre. On doit prévoir qu'en général, il n'y aura pas une compensation exacte entre les dépôts que les barrages détermineront au moment des grandes crues et les affouillements successifs qui tendront à les faire disparaître. La raison en est que, parmi les matières de transport amenées toutes à la fois après les pluies d'orage, il en est d'un volume trop considérable pour céder aux entraînements successifs des crues ordinaires. Mais cet inconvénient est peu grave, parce que les crues qui transportent des matières très-volumineuses étant rares relativement à celles qui produisent des affouillements, on doit admettre qu'il s'écoulera un temps considérable avant qu'il se soit déposé assez de gros blocs pour s'opposer à la dispersion des eaux en amont des barrages et par conséquent nuire à leur efficacité.

Dans un mémoire imprimé en 1857 dans les annales des Ponts-et-Chaussées et dans celles des Mines, nous avons exposé la théorie précédente avec beaucoup de détails et nous avons essayé de prouver par le raisonnement et par divers faits qu'elle pouvait conduire à des résultats pratiques d'une grande importance. Aujourd'hui la question n'en est plus là. Il s'agit de montrer par une expérience directe que si l'on établit un barrage sur un torrent: 1° les cailloux charriés en masse à l'époque des crues extraordinaires se déposeront en grande partie en amont de ce barrage; 2° que ces dépôts seront ensuite attaqués et tendront à disparaître par l'érosion des crues ordinaires; 3° qu'il y

aura entre les dépôts et les affouillements successifs une compensation assez exacte pour que leur alternative soit de longue durée. C'est dans le but de vérifier cette triple proposition qu'a été entrepris l'essai dont nous allons maintenant rendre compte.

Le torrent choisi pour l'expérience est situé dans la vallée de l'Ubaye, à trois kilomètres ouest de Barcelonnette. Il est connu sous le nom de Riou-Bourdoux et doit être considéré comme l'un des plus redoutables des Alpes. Nous l'avons adopté de préférence pour cette raison, afin que si, conformément à nos prévisions, le système de défense essayé était couronné de succès, il ne restât aucun doute sur la possibilité d'en faire une application générale. Le bassin de réception du Riou-Bourdoux (voir le plan d'ensemble, Pl. VII, *fig.* 3) présente la forme d'un immense entonnoir limité au nord par une série continue et presque demi-circulaire de sommités dont l'altitude est comprise entre 2500 et 2900 mètres. Le fond de la vallée de l'Ubaye n'étant qu'à 1100 environ au-dessus de la mer, il en résulte que les parois escarpées de cet entonnoir ont sur une partie de leur contour 1400 à 1800 mètres de hauteur. Leur développement total est au moins égal à 19 kilomètres. Le terrain compris dans cette vaste enceinte est composé de grès et de calcaires solides reposant sur des marnes argileuses extrêmement friables. Celles-ci étant facilement ravinées par les eaux pluviales, les bancs supérieurs restés privés de points d'appui s'écroulent de toute part, ce qui explique la destruction sur une grande échelle de ce système de couches et la prodigieuse quantité de débris que roule le torrent lors de ses grandes crues. Son lit de déjection sur lequel passe la route impériale de Digne à Barcelonnette s'étend depuis le pied des montagnes jusqu'à l'Ubaye sur une

longueur d'environ 1500 mètres; il occupe par conséquent toute la vallée. Sa surface complétement inculte, sauf sur une petite étendue abritée par des digues, peut être évaluée à 150 hectares. On voit par le plan qu'aujourd'hui le courant principal ne coule plus sur l'arête centrale des déjections. Des travaux de défense construits par les habitants du pays l'ont rejeté à droite; de ce côté, il va mêler ses eaux à celles de plusieurs petits torrents qui descendent d'un hameau nommé la Lauze, puis il se répand sur la route impériale qu'il encombre de limon et de gravier à chaque crue un peu forte. Des poteaux placés de distance en distance le long de cette route pour guider les voyageurs, lorsque en hiver le pays est enseveli sous la neige, ont servi en même temps d'échelle pour mesurer l'exhaussement du sol par l'effet des irruptions torrentielles. Il a été trouvé de $2^{m},50$ à $3^{m},00$ en 18 ans; ce qui donne une moyenne annuelle de 15 centimètres.

Le Riou-Bourdoux est sujet, comme tous les torrents des Alpes, aux deux espèces de crues dont nous avons parlé plus haut. Celles qui surviennent après les pluies d'orage renferment toujours une forte proportion d'une boue noire, tenace, résultat de la destruction des marnes argileuses du bassin de réception. Il s'y trouve mêlés avec beaucoup de menus débris des blocs de rocher qui ont souvent plus d'un mètre cube de volume. Le tout forme une masse visqueuse à surface convexe qui, par sa marche et sa demi-fluidité, rappelle les coulées volcaniques. Pour cette raison, elle est appelée lave par les habitants du pays. Lorsque cette lave parvient dans le lit de déjection, sa vitesse se ralentit parce qu'elle s'étale et que la pente du sol diminue. Les gros blocs se déposent les premiers et arrêtent bientôt la masse entière. Le lit du torrent est alors

comblé; les digues sont surmontées ou en grande partie enterrées. Ces crues boueuses ont été jusqu'à présent un obstacle insurmontable à ce que le Riou-Bourdoux eût un lit permanent; une longue expérience l'a démontré. Ce torrent ne pouvant, dans son état actuel, être encaissé, est, par conséquent, éminemment propre à l'essai du nouveau système de défense que nous proposons. Si à l'aide des barrages régularisateurs on parvient à retenir les laves en les forçant à s'étaler et à se diviser, sauf à permettre ensuite leur entraînement successif et par petites portions, il est bien probable que le lit du torrent ne sera plus comblé en aval. S'il en est ainsi, la question de l'efficacité des barrages aura été tranchée sans ambiguïté par un résultat net et positif. Avant les barrages, le Riou-Bourdoux n'était pas susceptible d'encaissement; après, cet encaissement sera devenu possible. On voit que l'essai est d'une grande importance et que notre persévérance à le poursuivre se trouve justifiée.

Les barrages construits ne sont pour le moment qu'au nombre de deux, indiqués sur le plan de détail (*fig.* 4) par les lettres *x* et *y*; ils sont placés en travers d'un petit bassin *mn* qui a 120 mètres de largeur moyenne et une longueur d'environ 1.400 mètres. Dans cet espace que traverse le torrent avant de déboucher dans la plaine, le sol formé par d'anciens dépôts boueux est complétement inculte. Tout autour sont de hautes collines qui limitent les débordements et font qu'ils sont sans danger. Ce bassin est donc très-propice pour servir à régulariser le transport des matières et à retenir en outre, pendant un temps indéfini, les blocs volumineux amenés par les fortes crues. Le mode de construction que nous avons adopté pour les barrages établis dans ce but nous a paru réunir la simplicité et la solidité à une

grande économie. Il consiste à employer à l'état brut les blocs de rocher qui sont épars à la surface du gravier ou engagés à demi dans son sein. Le lit de presque tous les torrents alpins en renferment un grand nombre. Après avoir aplani et préparé convenablement par des fouilles le sol qui doit servir de base à l'ouvrage, on y dispose les gros blocs par files continues et juxtaposées, les plus élevées reposant sur les plus basses de manière à former des gradins. La coupe, *fig.* 1, donne une idée exacte de cette disposition. Les deux premières files A et B destinées à servir de radier sont à peu près au même niveau; immédiatement en aval, il y a des enrochements I d'un volume suffisant pour empêcher que le sol ne soit facilement affouillé. La troisième file C posée en retraite sur les blocs B s'appuie en partie sur eux et en partie sur un remblai de gros cailloux. La quatrième file D est disposée exactement de la même manière relativement aux blocs C. Le nombre des gradins ainsi superposés dépend de la hauteur que l'on veut donner au barrage. Pour qu'un pareil ouvrage soit indestructible, il est nécessaire que son couronnement ne puisse être entamé par les eaux quelle que soit la violence du courant. Il faut aussi que dans aucun cas les blocs composant le radier ne soient entraînés. On satisfait à cette double condition en enchaînant entre eux d'un bout à l'autre tous les blocs du couronnement D et ceux de la première file A du radier. Cet enchaînement se fait au moyen de liens en fer dont la forme est représentée par la *fig.* 2. Les extrémités *m* et *n* de ce lien sont scellées solidement dans la pierre avec du ciment hydraulique. Tous les blocs enchaînés les uns aux autres ne font qu'un seul corps et leur entraînement devient impossible.

Les deux barrages *x* et *y* ont été construits de cette

manière. Le premier, haut de $2^m,20$ au-dessus de l'étiage, a 116 mètres de longueur en y comprenant les enracinements dans les berges. Son couronnement est parfaitement horizontal. Le second situé à 180 mètres en amont du précédent a une longueur totale de 124 mètres. Il n'a pas été construit horizontalement. On a reconnu en effet que par suite de la configuration des lieux et de l'escarpement inégal des berges, le courant avait une grande tendance à se porter entièrement vers la rive gauche. En conséquence, on a donné à l'ouvrage de ce côté une hauteur beaucoup plus considérable qu'à l'extrémité opposée; on est parvenu par ce moyen à assurer la dispersion des eaux. La hauteur maximum du couronnement est de $4^m.30$; moyennement elle est de $2^m.60$. Ce dernier barrage n'ayant pu être terminé qu'au commencement de novembre, un peu avant l'arrivée des neiges, son influence sur le transport des cailloux n'a pas eu le temps de se manifester. Quant au barrage x, il a été achevé dans les premiers jours d'octobre et bientôt après il a subi l'épreuve de plusieurs crues assez considérables dont une surtout très-forte dans la nuit du 1er au 2 novembre. Les effets suivants ont été observés : le creux formé immédiatement en amont de l'ouvrage par suite de son exhaussement a d'abord été promptement remblayé, et même à la fin le gravier déposé avait acquis une pente sensible dans le sens de l'inclinaison du torrent. Lorsque le remblai a été complet, les eaux à chaque crue se sont partagées en plusieurs courants plus ou moins considérables qui ont coulé par-dessus le couronnement faisant alors l'office de déversoir. Cette dispersion s'est opérée sur une largeur d'environ 50 mètres; elle aurait été plus étendue sans des inégalités assez fortes du lit résultant d'anciens dépôts de

gravier. Ces inégalités, ce qui est très-remarquable, ont été elles-mêmes attaquées et ont disparu en partie, en sorte qu'il est devenu évident que le torrent tendait à niveler son lit en amont du barrage, en remblayant les parties situées au-dessous du niveau du couronnement et en corrodant celles qui étaient au-dessus. Ces premiers résultats sont tout à fait conformes à nos prévisions. Nous espérons qu'ils se confirmeront et paraîtront encore plus saillants pendant le cours de l'année 1860 où probablement il surviendra des crues boueuses.

Lorsqu'il aura été bien constaté que les deux barrages ont pour effet de régulariser le transport des matières charriées et que leur solidité est à toute épreuve, nous proposerons de tracer au Riou-Bourdoux, en aval de ces ouvrages, un lit rectifié dont l'axe est indiqué sur le plan (*fig.* 4) par la ligne *abcd*. Ce nouveau lit aura 1.330 mètres de longueur, et une pente moyenne d'environ 6 centimètres par mètre. Sa largeur et sa profondeur seront déterminées par les affouillements successifs du torrent qui tendra à s'encaisser dans le sein de ses déjections. Si, comme tout doit le faire croire, ce lit devient permanent, il est évident que le problème aura été résolu. Un espace de 150 hectares sera rendu à l'agriculture et la route impériale n'aura plus à souffrir des débordements torrentiels qui plusieurs fois pendant l'année la rendent impraticable.

Nous terminerons ce rapport en faisant remarquer que nos études ont déjà eu un résultat utile, que nous considérons comme acquis, savoir : la possibilité de construire de grands barrages avec économie. Ce résultat nous paraît avoir de l'importance pour les raisons que nous allons exposer. Indépendamment de la propriété que nous attribuons aux barrages de régulariser

le transport des cailloux, ils ont un autre avantage reconnu depuis longtemps et hors de toute contestation, celui de diminuer la quantité absolue des matières charriées. En effet, ces ouvrages d'art s'opposent à l'affouillement soit du lit soit des berges d'un cours d'eau, et lorsqu'ils sont suffisamment nombreux, ils tarissent la source des déjections dont le dépôt occasionne les débordements. Si, malgré leur utilité, ils sont aujourd'hui peu employés dans les Alpes et appliqués seulement aux petits torrents, c'est uniquement à cause des frais énormes qu'entraîne leur construction. Car, jusqu'à présent, on n'a su les établir qu'en maçonnerie composée de pierres d'appareil taillées et assemblées avec art. L'emploi que nous avons fait de blocs de pierre entièrement bruts, simplement superposés et enchaînés, a réalisé une diminution dans les dépenses que nous estimons être *dans le rapport de* 1 *à* 10. En effet, avec une somme à peine égale à 9.000 francs, et qui serait encore réduite si nous recommencions le travail, nous avons construit 240 mètres de barrage ayant une hauteur moyenne de $2^{m},20$ à $2^{m},60$. La solidité de ce nouveau mode de construction a d'ailleurs été démontrée par l'expérience. En 1853 et 1854, nous avons établi trois barrages de ce genre sur le torrent de Roise, commune de Voreppe (Isère). Ce torrent, quoique bien moins considérable que le Rioux-Bourdoux, a cependant une pente aussi forte et éprouve par intervalles des crues violentes. Depuis 1853, les barrages établis ont bien résisté et sont aujourd'hui dans un état parfait de conservation, ainsi que nous nous en sommes assuré dans une visite faite sur les lieux au mois de novembre dernier. C'est un précédent qui préjuge d'une manière favorable l'essai beaucoup plus en grand entrepris dans la vallée de Barcelonnette.

En résumé, les barrages établis à titre d'essai sur le Riou-Bourdoux ont pour objet de régulariser le transport des matières charriées par ce torrent et, par suite, de permettre son encaissement dans l'intérieur de la vallée qu'il couvre aujourd'hui de ses déjections. Malgré le peu de temps écoulé depuis l'achèvement des travaux, les faits qui se sont produits ont été conformes à nos prévisions et font présager pour l'essai une issue favorable. Dans tous les cas, un résultat important est dès à présent acquis, savoir la possibilité de construire de grands barrages à très-bas prix et avec une solidité suffisante ; cela permettra de multiplier dans les Alpes ces ouvrages d'art dont l'utilité pour raffermir le lit des torrents et empêcher la dégradation des berges est depuis longtemps incontestée.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR L'ÉCOULEMENT DES VAPEURS.

Par M. MINARY, ingénieur de l'atelier de construction de Casaméne (Doubs)

et

M. RÉSAL, ingénieur des mines.

Les recherches expérimentales sur le mouvement des gaz dans les tuyaux n'ont porté jusqu'à présent que sur l'air et sur des différences assez faibles entre les pressions extrêmes.

Les expériences qui méritent le plus de confiance sont celles de MM. Pecqueur, Bontemps et Zambaux, et ce sont les seules que nous rappellerons ici. Les différences de pressions ou charges motrices n'ont pas dépassé une atmosphère; quant aux tuyaux employés, on a fait varier leur longueur entre 4 mètres et 68 mètres.

M. Poncelet (1), en interprétant les résultats de ces expériences, a reconnu que l'écoulement de l'air suit la même loi que celui d'un fluide incompressible qui aurait pour densité celle de l'air dans le réservoir d'alimentation, et il a calculé la valeur numérique du coefficient de la résistance due au tuyau et supposée proportionnelle à la densité du fluide. D'autres expériences exécutées par ce savant en collaboration de

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome XXI, séance du 21 juillet 1845.

M. Pecqueur, sont venues confirmer les premiers résultats obtenus.

Or, pour une pression dans le réservoir, double de la pression au débouché, ces expériences sont bien suffisantes pour démontrer que l'air en mouvement ne se détend pas d'une manière continue du réservoir au débouché, en comparant les résultats de l'expérience à ceux auxquels on arrive en supposant la densité constante.

En soumettant l'appareil Giffard à l'expérience, nous avons été conduits à vérifier si la loi et les chiffres de M. Poncelet sont applicables aux vapeurs pour des différences de charge considérables et que nous avons fait varier de 1 à 4 atmosphères.

Dans ce premier mémoire nous ne nous occuperons que de l'écoulement des vapeurs, indépendamment des frottements, c'est-à-dire, en comparant les débits à la pression mesurée à une faible distance de l'orifice.

Ces expériences ont eu lieu à l'atelier de construction de Casamène (près Besançon) appartenant à la compagnie des forges de Franche-Comté, dont les administrateurs ont bien voulu mettre à notre disposition tous les éléments dont nous avions besoin.

Disposition des appareils et mode d'expérimentation.

La disposition que nous avons employée est la suivante (Pl. IX, *fig.* 10) : le tuyau de prise de vapeur se bifurque en un certain point et les deux branches sont respectivement munies d'un robinet. L'une de ces branches communique avec une capacité cylindrique en tôle, ou *réchauffeur*, percée à la partie inférieure d'un petit orifice constamment ouvert et servant de purgeur. Un manomètre métallique est placé à la partie supérieure de cette capacité, dont il indique la pression.

Le second embranchement pénètre dans cette même capacité, forme un serpentin allant du haut en bas, puis remonte rectilignement à la partie supérieure et sort à l'extérieur. On a ménagé à la partie inférieure du serpentin une petite ouverture communiquant avec l'extérieur pour servir de purgeur. Au delà du réchauffeur cylindrique le tuyau est entouré d'une corde de foin, afin d'éviter jusqu'au jet, sur un parcours d'ailleurs assez faible, une condensation partielle due à un refroidissement dans l'air.

Vers son extrémité, le tuyau se contourne verticalement et se termine par un orifice dont nous avons fait varier la forme et la section, tandis que le tuyau a un diamètre beaucoup plus grand.

Un manomètre à air comprimé est mis en relation avec le tuyau de conduite à une distance de $0^m,50$ de l'orifice et un peu en contre-bas du coude.

Pour obtenir un écoulement sous une pression déterminée, il suffit d'ouvrir le robinet correspondant au serpentin et de réchauffer à la même tension, ou à une tension un peu supérieure, indiquée par le manomètre métallique, en ouvrant le robinet de l'autre embranchement de manière à obtenir autant que possible de la vapeur débarrassée d'eau à l'état vésiculaire; néanmoins malgré ces précautions nous n'avons pu complétement éviter cet inconvénient qui rend ce genre d'expériences beaucoup plus difficile et beaucoup moins précis que les expériences sur le mouvement de l'air. Le moindre mouvement dans la chaudière, une soupape qui vient à fonctionner, ou toute autre cause accidentelle, suffit pour modifier la constitution physique de la vapeur. Si nous ne sommes pas parvenus au degré de précision que comporte la physique pure, nous espérons que l'on nous saura gré de nos ef-

forts, et que l'on fera entrer en ligne de compte les faibles moyens que nous avions à notre disposition, en cherchant à combler une lacune importante de la mécanique appliquée. Nous ferons remarquer que nous avons évité tout suréchauffement en réglant convenablement la tension dans le réchauffeur.

Pour nous affranchir des conditions initiale et finale de chaque expérience qui auraient influé sur l'exactitude de nos résultats, et principalement pour ne pas comprendre dans le poids de vapeur dépensé la quantité d'eau souvent considérable, résultant de la condensation de la vapeur dans le tuyau entre une expérience et la suivante, nous avons vissé à l'extrémité du tuyau une capacité sphérique terminée par un robinet à double effet (*fig.* 11).

Enfin, au débouché principal du robinet, nous avons adapté un cône plongeant en partie dans une bâche d'eau froide destinée à produire la condensation, et en vue de faciliter cette opération.

Un orifice placé latéralement au cône était débouché après chaque expérience, pour éviter l'aspiration due à la condensation qui aurait modifié les pesées.

Mais la vapeur, en sortant par l'orifice du tuyau, changeant brusquement de vitesse en entrant dans la chambre supérieure du robinet, a dû donner lieu à une réduction de pression que nous avons dû faire entrer en ligne de compte et cela au moyen d'un baromètre à cuvette dont la partie supérieure communique par un tube métallique avec cette chambre, à un niveau un peu supérieur à l'extrémité du jet.

Cette disposition adoptée, le mode d'expérimentation s'est réduit à fort peu de chose. La bâche de condensation étant placée sur une bascule, on en faisait la tare dès qu'elle renfermait le poids d'eau froide voulu.

Le robinet à double effet étant tourné de manière à ce que la vapeur s'échappât latéralement à l'extérieur par un tuyau disposé en conséquence, on réglait à la pression voulue le manomètre à air comprimé du tuyau et le manomètre métallique du réchauffeur, et quand l'écoulement avait lieu d'une manière régulière, que la vapeur n'était plus chargée d'eau, et enfin que la chaudière était suffisamment purgée d'air, on n'avait qu'à tourner brusquement d'un quart de tour le robinet à double effet, en même temps qu'on pressait le bouton d'un compteur à secondes. L'opération se terminait de la même manière et l'augmentation du poids de la bâche donnait le poids de vapeur dépensé.

Notre compteur marque le cinquième de seconde ; néanmoins nous avons cru devoir continuer chaque expérience pendant dix minutes, vingt minutes, et dans quelques cas pendant une demi-heure, afin que les erreurs inhérentes à notre moyen de pesage soient relativement insignifiantes.

La hauteur barométrique allait naturellement en diminuant du commencement à la fin de l'opération par suite de la résistance croissante opposée à la condensation par l'échauffement de l'eau ; mais comme nous employions une grande quantité d'eau froide, les variations de cette colonne se trouvaient relativement très-petites, et il nous a suffi d'en prendre la hauteur au commencement et à la fin de l'expérience et de faire entrer dans nos calculs la moyenne de ces deux observations.

L'emplacement mis à notre disposition ne nous a pas permis d'employer un manomètre à air libre. D'autre part, les manomètres métalliques ne donnant en général la pression qu'à 1/4 et même 1/3 d'atmosphère près, comme il nous est arrivé souvent de le

constater, et leurs indications n'étant pas susceptibles de corrections certaines, ils ne nous auraient pas donné une approximation suffisante ; cependant, un pareil manomètre remplissait suffisamment bien son but pour le réchauffeur dont l'indication de la pression n'exigeait pas une bien grande précision.

C'est pourquoi nous avons employé un manomètre à air comprimé construit, ainsi que deux autres, dans l'atelier de Casamène. Pour éviter les inconvénients relatifs à la sortie d'une partie de l'air, pouvant résulter d'une aspiration due à la condensation de la vapeur dans le tuyau entre deux expériences consécutives, nous avons fait reposer l'extrémité inférieure du tube sur le siége d'un orifice pratiqué au sommet d'une cloche faisant corps avec le couvercle de la cuvette, et se trouvant à une faible distance du fond de la capacité. Par cette disposition, l'air ne pouvait se dilater que dans la cloche sans sortir de l'appareil, pour des aspirations même incomparablement plus fortes que celles que nous avions à redouter.

Les indications manométriques ont été tracées de demi en demi atmosphères au moyen de la pompe foulante, et en prenant un manomètre à air libre pour point de comparaison. Mais ces indications ont dû subir de notre part des corrections même assez importantes pour les hautes pressions. D'une part la hauteur barométrique à Besançon n'est que de $0^m,740$ de mercure ; d'autre part, la pression à l'extrémité de la conduite où se trouvait le manomètre à air libre, pouvait très-bien se trouver inférieure à celle qui correspondait au manomètre à air comprimé placé en un point intermédiaire ; enfin les oscillations du mercure ont pu donner lieu à d'autres causes d'erreurs.

Pour rectifier ces indications, nous avons introduit

dans le tube, successivement des quantités de mercure différentes, dont le poids et par conséquent le volume a été apprécié très-exactement, de même que la longueur occupée dans le tube, et au moyen d'un tracé graphique, nous avons reconnu que l'on avait avec une très-grande approximation la relation

$$\frac{v}{v_0} = \frac{1}{4}\,1 + \left[\frac{3(h-224)}{602}\right],$$

v_0 étant le volume intérieur total du tube, v le volume correspondant à la hauteur h évaluée en millimètres de mercure.

D'autre part, en négligeant la dénivellation dans la cuvette, dont la surface annulaire du niveau est supérieure à trois cents fois la section du tube, on a

$$\frac{v_0 - v}{v_0} = \frac{740}{760n - h},$$

n étant la pression en atmosphères ; d'où l'on déduit :

$$n = \frac{h}{760} + \frac{781,5}{826 - h}.$$

En appliquant cette formule aux valeurs de h correspondant à la graduation primitive on a le tableau suivant :

ANCIENNE GRADUATION.	h	n
1,5	188	1.48
2,0	336	2,04
2,5	439	2.60
3,0	509	3,13
3,5	561	3,69
4,0	602	4,29
4,5	633	4,88
5,0	656	5.46

CHOIX DES FORMULES D'INTERPOLATION.

Considérations générales. — Lorsqu'un gaz se détend brusquement de manière à ne recevoir aucune influence

calorifique de la part des corps environnants, on sait que sa température diminue, et que sa pression décroît plus rapidement que le rapport des densités.

Si l'on admet, comme on le fait dans les traités de mécanique rationnelle, qu'un gaz en mouvement dans un tuyau se détend graduellement et avec continuité jusqu'à l'orifice, il est clair que l'on devrait prendre pour base, non la loi de Mariotte, mais celle que nous venons de mentionner ; car, lorsque le régime permanent est établi, l'état de mouvement du fluide et sa faible conductibilité rendent les échanges de chaleur avec la paroi du tuyau extrêmement faibles. Mais en admettant la loi de Mariotte, on suppose qu'elle permet d'obtenir une approximation suffisante dans la question, en raison même de la petitesse de la différence relative des deux chaleurs spécifiques du gaz, et dont dépend l'exposant de la puissance du rapport des densités qui représente le rapport des pressions.

Lorsqu'une vapeur à saturation se dilate brusquement, si l'on admet que, de deux choses l'une, ou elle se condense partiellement en conservant son maximum de tension, ou elle se comporte comme un gaz, on peut s'assurer d'une manière très-simple (voir la note, p. 399) que la seconde hypothèse est seule admissible. En réalité aux environs du point de saturation, les vapeurs ne se comportent pas rigoureusement comme les gaz, mais ici nous pouvons, avec une approximation suffisante, ne pas nous occuper de cette différence.

Si l'on se reporte aux considérations exposées plus haut sur le mouvement des gaz permanents, il nous sera donc permis de supposer que les vapeurs en mouvement se comportent de la même manière, et même d'admettre purement et simplement la loi de Mariotte, d'autant plus que l'on n'est pas fixé sur la valeur et la

constance du rapport des deux chaleurs spécifiques des vapeurs à saturation.

Hypothèse d'une détente graduelle et continue.

Soient p_0, ϖ_0, ω_0 la pression de la vapeur indiquée par le manomètre, la densité correspondante et la section du tuyau ; $p, \varpi = \varpi_0 \frac{p_0}{p}, \omega, v$, la section, la densité et la vitesse à l'orifice.

Q le poids de vapeur débité par seconde.

L'hypothèse actuelle conduit aux relations

$$(1)\qquad \begin{cases} v = \sqrt{\dfrac{2g\,\frac{p_0}{\varpi_0}\log\frac{p_0}{p}}{1-\frac{p^2}{p_0^2}\cdot\frac{\omega^2}{\omega_0^2}}} \\ Q = \omega\sqrt{\dfrac{2g\,\frac{p^2}{p_0}\log\frac{p_0}{p}\cdot\varpi_0}{1-\frac{p^2}{p_0^2}\cdot\frac{\omega^2}{\omega_0^2}}}\ ; \end{cases}$$

mais pour des orifices de $0^m,004$ de diamètre, le diamètre du tuyau étant de $0^m,15$, on pourrait sans inconvénient négliger le terme très-petit $\frac{\omega^2}{\omega_0^2}\cdot\frac{p^2}{p_0^2}$ et prendre tout simplement

$$(2)\qquad \begin{cases} v = \sqrt{2g\,\frac{p_0}{\varpi_0}\log\frac{p_0}{p}} \\ Q = \omega\sqrt{2g}\,\frac{p^2}{p_0}\log\frac{p_0}{p}\,\varpi_0 = \omega\sqrt{2gp\varpi\log\frac{p_0}{p}}. \end{cases}$$

Or, d'après ces formules pour $p = 0$, ou pour un écoulement dans le vide on aurait une vitesse infinie et une dépense nulle, ce qui évidemment est absurde.

D'autre part pour l'écoulement de l'air dans l'atmosphère, dans lequel cas p, ϖ, doivent être considérés comme constants, on reconnaît que Q atteindrait son maximum pour $\frac{p_0}{p} = 1,65$ environ, résultat inadmis-

sible et complétement en désaccord par extension du principe avec les chiffres de nos expériences.

Nous n'avons donc pu employer les formules (1) et (2).

Hypothèse d'une chute brusque de pression à l'orifice.

Si l'on admet que le fluide élastique se comporte comme un liquide dans l'intérieur du tuyau, en conservant la même pression jusqu'à l'orifice, on a les formules

$$v = \sqrt{2g\frac{p_0 - p}{\varpi_0\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)}}$$

$$Q = \mu\omega\sqrt{\frac{2g(p_0-p)\omega_0}{\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)}}$$

μ étant un coefficient de dépense; expressions qui restent respectivement finie et différente de zéro lorsque p est nul.

MM. de Saint-Venant et Wantzel (*Comptes rendus de l'académie des sciences* 1843, 1845) avaient déjà admis des formules analogues, dans leurs expériences sur l'écoulement de l'air, et s'étaient trouvés conduits à la formule empirique $\mu = \frac{1}{1+0{,}58\left(1-\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{3}{2}}}$, coefficient qui augmente avec la pression. Dans nos expériences nous sommes arrivés à un résultat contraire, comme on pourra en juger par les résultats numériques contenus dans les tableaux qui suivent.

Avant d'aller plus loin nous ferons remarquer que la différence de niveau entre la prise de vapeur du manomètre et le niveau du mercure étant de $0^m,95$, et le tuyau de communication étant naturellement rempli d'eau, les indications manométriques ont dû être réduites de 0,09 d'atmosphère, correspondant au poids d'une colonne d'eau de $0^m,95$ de hauteur. Nous avons donc pu prendre, pour les pressions en atmosphères les chiffres suivants, en regard desquels nous avons placé les valeurs correspondantes des densités représentées par la lettre ϖ_0.

n	ϖ_0
1,39	0,79128
1,95	1,08986
2,51	1,37156
3,04	1,63453
3,60	1,90886
4,20	2,20198
4,79	2,47618
5,37	2,74956

Si maintenant nous représentons par Q le poids de la vapeur dépensée pendant la durée θ de l'expérience; par η la moyenne des hauteurs barométriques h prises au commencement et à la fin de chaque expérience, la pression d'une atmosphère étant de 10334 kilogrammes et l'accélération de la pesanteur 9,8088, nous expliquerons la formule

$$Q = \frac{\mu\theta\omega}{\sqrt{1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}}}\sqrt{\frac{2\times 9.8088\times 10.334}{760}}\sqrt{(n.760-740+\eta)\varpi_0}$$

PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Orifice en mince paroi de 4 millimètres de diamètre.

L'orifice est pratiqué suivant l'axe du tube, dans la paroi horizontale qui le termine. Deux calottes sphériques opposées par le sommet et dont l'axe coïncide avec le précédent, amincissent les lèvres de l'orifice et les réduisent à une épaisseur de 1/4 de millimètre. Quelques-unes des expériences, principalement celles qui sont relatives aux basses pressions, ont duré une demi-heure; mais dans le tableau suivant, on a réduit proportionnellement à vingt minutes, durée de toutes les autres expériences, les chiffres correspondants.

$\theta = 20' \times 60'' = 1.200''$.

NUMÉROS.	n	h	η	Q	$\frac{Q}{\mu}$	μ
1	1,39	10 0	5	2.600	4.044	0,643
2	»	10 0	5	2.650	4.044	0,655
3	»	20 0	10	2.700	4.076	0,662
Moyenne. . . .	»	»	»	»	»	0,653
1	1.95	20 10	15	4.300	7.468	0,576
2	»	30 15	22,5	4.300	7.503	0,573
3	»	20 10	15	4.300	7.468	0,576
Moyenne. . . .	»	»	»	»	»	0,575
1	2,51	130 110	120	5.500	10.784	0,510
2	»	125 105	115	5.450	10.763	0,507
3	»	135 115	125	5.550	10.805	0,513
Moyenne. . . .	»	»	120	5.500	»	0,510
1	3,04	180 160	170	6.800	13.687	0,497
2	»	185 165	175	6.850	13.707	0,499
3	»	185 165	175	6.800	13.707	0,496
Moyenne. . . .	»	»	175	6.817	»	0,497
1	3,60	185 165	175	7.800	16.536	0,472
2	»	205 188	196,5	7.800	16.602	0,470
3	»	205 185	195	7.800	16.597	0.470
Moyenne. . . .	»	»	189	7.800	»	0,471
1	4,20	235 220	227,5	9.050	19.713	0,459
2	»	230 215	222,5	9.050	19.694	0,459
3	»	245 225	235	9.100	19.740	0,461
Moyenne. . . .	»	»	228	9.067	»	0,460

NUMÉROS.	n	h	η	Q	$\frac{Q}{\mu}$	μ
1	4,79	260 245	252,5	10.200	22.674	0,445
2	»	260 240	250	10.200	22.664	0,445
Moyenne. . . .	»	»	251	10.200	»	0,445
1	5,37	270 260	265	11.200	25.553	0,498
2	»	280 265	272,5	11.300	25.580	0,441
3	»	280 263	271,5	11.200	25.576	0,438
Moyenne. . . .	»	»	270	11.233	»	0,439

Si, en prenant pour abscisses les pressions et pour ordonnées les coefficients de dépenses on détermine, à une grande échelle et avec beaucoup de soin, les points correspondants aux données ci-dessus de l'expérience, on reconnaît que les points nos 1, 4, 6, 8 peuvent se joindre par un trait continu et qu'il en est de même des points 1, 3, 5, 7, 8; ces deux traits distants au maximum, parallèlement aux ordonnées, de $0^m,020$ correspondant à 1,95 atmosphères, donnent une idée très-nette des erreurs que l'on a pu commettre; l'erreur maximum apportée à l'ordonnée n'est que de $\frac{20}{375}$, soit 0,036. Cette erreur sera diminuée de moitié et satisfera très-largement aux conditions de l'application, si l'on prend un trait intermédiaire ayant pour ordonnées la demi-somme de celles des deux premières. C'est ainsi que nous avons obtenu pour

$n = 1,5$	$\mu = 0,617$
$n = 2$	$\mu = 0,556$
$n = 2,5$	$\mu = 0,520$
$n = 3$	$\mu = 0,494$
$n = 3,5$	$\mu = 0,476$
$n = 4$	$\mu = 0,463$
$n = 4,5$	$\mu = 0,451$
$n = 5$	$\mu = 0,443$

Si l'on prend les différences successives de ces nombres, on trouve que les différences troisièmes ne renferment que quelques unités de l'ordre des millièmes et qui sont négligeables, à part toutefois celle de ces différences qui est relative au premier nombre, égale à 0,015, et qui, rapportée à 0,617, ne représente cependant qu'une faible fraction. Nous avons donc été conduits à représenter μ par une expression de la forme

$$\mu = a + bn + cn^2.$$

La formule suivante

$$1000.\mu = 813 - 154{,}6n + 16{,}14n^2.$$

représente avec assez d'exactitude l'ensemble des chiffres précédents, car l'erreur relative qu'elle comporte n'est guère que de 1/50.

DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Orifice en mince paroi de 6 millimètres de diamètre.

Ces expériences qui n'avaient pour objet que de constater l'influence du diamètre de l'orifice sur la dépense, n'ont eu lieu que pour des pressions différant entre elles d'une atmosphère au minimum. Mais à 5 atmosphères 37, les chocs ou secousses ont été tellement violents, que nous avons dû, en vue de la conservation des différentes parties de l'appareil, renoncer à continuer l'opération.

Le baromètre n'a indiqué aucune aspiration sensible

$$0 = 10'.$$

Numeros.	n	Q	h'	$\frac{Q}{\mu}$	μ
1	1,95	5.700			
2		5.700			
3		5.700			
		5.700	0	9.778	0,582
1	3,04	8.800			
2		8.00			
		8.800	0	17.547	0,501
1	4,20	11.700			
2		11.700			
		11.700	0	25.507	0,458

Si l'on compare ces valeurs de μ aux valeurs correspondantes que nous ont fourni les expériences de la première série, on voit qu'elles ne diffèrent que de quantités relativement assez petites pour que l'on puisse les considérer comme rentrant dans les erreurs de l'observation. C'est donc avec raison que nous avons supposé μ indépendant de la section de l'orifice, et du rapport de cette section à celle du tuyau.

TROISIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Le tuyau se termine par un ajutage conique de $3^{mm},5$ de diamètre au débouché, de 42 millimètres de longueur et se raccordant avec le tuyau.

NUMÉROS.	n	η	h	Q	$\frac{Q}{\mu}$	μ
1	1,38	10 0	5	2.500	4.044	0.808
2	»	10 0	5	2.500	4.044	0.808
3	»	10 0	5	2.500	4.044	0.808
Moyenne. . . .	»	»	»	»	»	0,808
1	1,95	60 40	50	3.650	7.634	0,625
2	»	65 43	54	3.650	7.653	0,623
3	»	60 35	47,5	3.670	7.623	0,634
4	»	70 50	60	3.700	7.681	0,627
Moyenne. . . .	»	»	»	»	»	0,627
1	2,51	107 95	101	4.600	10.704	0,562
2	»	97 85	91	4.550	10.662	0,558
3	»	110 80	95	4.600	10.691	0,564
4	»	70 56	62	4.550	10.538	0,563
Moyenne. . . .	»	»	»	»	»	0,562
1	3,04	140 120	130	5.600	13.529	0,541
2	»	149 133	141	5.600	13.569	0,540
3	»	148 126	137	5.600	13.557	0,540
4	»	150 130	140	5.600	13.569	0,540
Moyenne. . . .	»	»	»	»	»	0,540
1	3,69	175 158	166,5	6.500	16.488	0,516
2	»	180 170	175	6.500	16.520	0,512
3	»	178 165	171,5	6.500	16.507	0,515
4	»	195 180	187,5	6.500	16.558	0,512
»	»	185 170	177,5	6.500	16.549	0,514
Moyenne. . . .	»	»	»	»	»	0,514

NUMÉROS.	n	η	h	Q	$\frac{Q}{\eta}$	μ
1	4,20	175 165	170	7.500	19.499	0,503
2	»	215 193	204	7.500	19.535	0,502
3	»	220 200	210	7.500	19.647	0,501
4	»	240 210	225	7.500	19.703	0,499
Moyenne. . . .	»	»	»	»	»	0,501
1	4,79	230 218	224	8.400	22.571	0,486
2	»	235 220	227,5	8.400	22.582	0,486
3	»	250 235	242,5	8.400	22.637	0,485
Moyenne. . . .	»	»	»	»	»	0,486
1	5,37	248 224	236	9.400	25.451	0,482
2	»	273 243	258	9.400	25.129	0,481
3	»	273 243	258	9.400	25.529	0,481
4	»	265 280	171,5	9.300	25.252	0,481
Moyenne. . . .	»	»	»	»	»	0,481

En faisant une épure, on reconnaît que les points correspondants aux expériences n^{os} 1, 2, 4, 6, 7, 8 se trouvent sur un trait continu, et l'on peut, de la même manière, faire passer un pareil trait sur les points n^{os} 1, 3, 5, 7, 8. En faisant passer comme plus haut une courbe intermédiaire, nous avons trouvé les chiffres suivants :

Pression atmosphérique.	Coefficients de dépense.
1,5o	0,712
2	0,612
2,5o	0,587
3	0,538
3,5o	0,519
4	0,5o3
4,5o	0,49o
5	0,484

Les différences quatrièmes de ces coefficients sont relativement assez faibles pour être négligées, et l'on est ainsi conduit à représenter μ par un polynome du troisième degré en fonction de la pression en atmosphères.

La formule

$$1000\,\mu = 1283{,}77 - 566{,}59n + 144{,}61n^2 - 12{,}81n^3$$

donne les valeurs de μ à 1/40 près pour les pressions de 2 et 5 atm., et avec une approximation beaucoup plus grande pour les autres.

QUATRIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Ajutage rentrant sur $0^m{,}005$ de longueur, de $0^m{,}004$ de diamètre, évasé au dehors en atteignant $0^m{,}010$ de diamètre pour que la gerbe s'échappe librement. La largeur de l'anneau comprise entre la base inférieure de l'ajutage et la paroi du tuyau est de $0^m{,}002$.

$\theta = 20'$.

NUMÉROS.	π	h	η	Q	$\frac{Q}{\mu}$	μ
1	1,39	10 0	5	2.450	»	»
2	»	10 0	5	2.450	»	»
3	»	10 0	5	2.450	»	»
Moyenne. . . .	»	»	»	2.450	4.044	0,606
1	1,95	60 45	52,5	4.150	»	»
2	»	50 35	42,5	4.100	»	»
Moyenne. . . .	»	»	47,5	4.125	7.623	0,541
1	2,51	60 40	50	5.400	10.484	0,515
2	»	75 55	65	5.500	10.551	0,521
3	»	75 55	65	5.500	10.551	0,521
Moyenne. . . .	»	»	»	»	»	0,519
1	3,04	70 30	50	6.500	13.207	»
2	»	70 30	50	6.500	13.207	»
3	»	70 30	50	6.500	13.207	»
Moyenne. . . .	»	»	50	6.500	13.207	0,493
1	3,69	100 80	90	7.750	»	»
2	»	100 80	90	7.750	»	»
Moyenne. . . .	»	»	90	7,750	16.194	0,478
1	4,20	130 100	115	8.800	»	»
2	»	130 100	115	8.800	»	»
3	»	130 100	115	8.800	»	»
Moyenne. . . .	»	»	115	8.800	19.294	0.456
1	4,79	160 130	145	9.700	»	»
2	»	160 130	145	9.700	»	»
Moyenne. . . .	»	»	145	9.700	22.283	0.435
1	5,37	210 190	200	10.800	»	»
2	»	210 190	202	10.850	»	»
Moyenne. . . .	»	»	»	10.825	25.325	0.427

Si l'on construit les points ayant μ pour ordonnée et n pour abscisse, on reconnaît que ces points ne sont pas sur un trait continu, mais qu'ils s'éloignent peu, de part et d'autre, d'un trait passant par les points n^{os} 1, 3, 7, 8.

En considérant comme valeurs exactes les suivantes qui dérivent de ce tracé, on trouve :

Pour $n = 1{,}5$	$\mu = 0{,}592$
$n = 2$	$\mu = 0{,}544$
$n = 2{,}5$	$\mu = 0{,}515$
$n = 3$	$\mu = 0{,}493$
$n = 3{,}5$	$\mu = 0{,}475$
$n = 4$	$\mu = 0{,}455$
$n = 4{,}5$	$\mu = 0{,}443$
$n = 5$	$\mu = 0{,}432$

La formule

$$\mu = 0{,}73671 - 0{,}11169n + 0{,}1015n^2$$

représente très-approximativement la loi qui relie les valeurs ci-dessus de n et de μ. L'approximation est inférieure à 1/50 pour $n=2$, et plus petite que 1/100 pour les autres pressions.

Dans une expérience spéciale sur l'ajutage rentrant, nous avons constaté que le manomètre à air comprimé et qu'un manomètre pareil correspondant au niveau inférieur de l'orifice donnaient, quelle que soit la pression, des indications complétement identiques. Ce qui prouve, d'une manière très-nette, l'exactitude de notre point de départ; savoir, qu'un fluide élastique en mouvement dans un tuyau ne se détend pas d'une manière continue jusqu'à l'orifice, mais conserve et conserverait sans les frottements la même pression en chaque point du tuyau. Dans un prochain mémoire nous étudierons les frottements des vapeurs dans les tuyaux, et les effets mécaniques de l'injecteur Giffard.

NOTE.

De l'effet produit par une augmentation brusque de volume d'une masse de vapeur au maximum de tension.

Si l'on augmente brusquement le volume d'une masse de vapeur au maximum de tension, de manière à ce qu'elle n'éprouve ni gain ni perte de chaleur de la part des corps environnants : de deux choses l'une, ou la vapeur se comportera comme un gaz permanent ou à peu près, ou l'abaissement de température résultant de la dilatation déterminera une condensation partielle. Il y a donc ici un problème à résoudre, et dont la solution n'est pas sans importance.

Supposons que l'on construise (*fig.* 12) la courbe oa' ayant pour abscisse la température et pour ordonnée la tension maxima, et soit a' un point de cette courbe correspondant à l'abscisse $oa = t$ et à l'ordonnée $oa' = p$.

Si, en augmentant ou diminuant le volume de la masse de vapeur, elle se comportait comme un gaz permanent, la température et la pression baisseraient ou augmenteraient suivant une certaine loi représentée par une courbe telle que $b'c'$ passant par le point a'.

Si comme en deçà de aa', la courbe $b'a'c'$ se trouve au-dessus de oa', et au-dessous au delà de la même ordonnée, l'hypothèse précédente ne sera pas admissible pour une augmentation de volume, puisqu'alors, pour une température inférieure à t, la pression serait supérieure au maximum de tension. Par une raison analogue, la vapeur se conduira comme un gaz permanent si on lui fait subir une réduction de volume.

Il est donc clair que l'inverse aurait lieu si $b'c'$ était autrement disposée par rapport à oa'.

Soient p' une ordonnée quelconque de la courbe $a'c'$ correspondant à l'abscisse t', γ le rapport des chaleurs spécifiques de la vapeur sous pression constante et sous volume constant; posons $\varepsilon = \frac{\gamma - 1}{\gamma}$, ε étant inférieur à l'unité, et appelons α le coefficient de dilatation de la vapeur à saturation.

On a d'après une formule de Poisson

$$\left(\frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t}\right)^{\frac{1}{\varepsilon}} = \frac{p'}{p}.$$

d'où

$$\frac{dp'}{p} = \frac{\alpha}{\varepsilon}\left(\frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}\right)^{\frac{1}{\varepsilon}-1}\frac{dt}{1+\alpha t},$$

et pour le point a'

$$\frac{dp'}{p} = \frac{\alpha}{\varepsilon}\frac{dt}{1+\alpha t}.$$

Or l'accroissement infiniment petit de l'ordonnée de la courbe oa, $\frac{dp}{dt}\,.\,dt$, doit être supérieur à dp' pour qu'elle passe au-dessus de $a'c'$, au delà de aa', ce qui donne l'inégalité

$$\frac{1}{p}\frac{dp}{dt} = \frac{dlgp}{dt} > \frac{\alpha}{\varepsilon}\frac{1}{1+\alpha t}.$$

D'après les expériences de M. Regnault, le coefficient de dilatation d'une vapeur, sensiblement égal à celui des gaz lorsqu'elle se trouve suffisamment éloignée du point de saturation, va en augmentant à mesure que l'on s'approche de ce point. Ainsi, entre 107° et 110°, le coefficient de dilatation de la vapeur d'eau à saturation est de 0,00509, tandis qu'entre 200° et 250°, il se réduit à 0,00369. Mais jusqu'ici il ne paraît pas que l'on ait déterminé la valeur exacte de α pour les vapeurs à saturation, et il en est de même du coefficient γ ou ε.

En supposant que la vapeur se conduise comme un gaz permanent, on a $\gamma = 1{,}21$ (1), $\varepsilon = 0{,}174$.

Si l'on désigne par r la chaleur latente de la vapeur, par ρ sa densité, E l'équivalent mécanique de la chaleur, on a approximativement

$$\frac{dp}{dt}\frac{1+\alpha t}{\alpha} = \rho r \mathrm{E},$$

l'inégalité précédente devient par suite

$$\frac{\rho}{p} > \frac{1}{\varepsilon r \mathrm{E}}.$$

Si l'on suppose $\mathrm{E} = 440$, $r = 606{,}5 - 0{,}695t$ et $\varepsilon = 0{,}174$, on reconnaîtra facilement que numériquement cette égalité ne peut pas être satisfaite. D'où il résulte que pour une dilatation brusque de la vapeur, elle ne se condense pas; elle se comporte donc ou du moins à peu près comme un gaz.

(1) Chiffre déduit de la chaleur spécifique de la vapeur donnée par M. Regnault et de la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR

LA CHALEUR DE LA FONTE DE FER EN FUSION

ET DE QUELQUES AUTRES CORPS MÉTALLIQUES.

Par M. MINARY, ingénieur des ateliers de construction de Casamène (Doubs),

et M. RÉSAL, ingénieur des mines.

La prospérité dans l'industrie paralyse en général les idées de perfectionnement ou d'innovation, et l'on comprend ainsi comment certaines branches sont restées trop longtemps stationnaires au lieu de chercher, comme on le voit aujourd'hui, à transformer les procédés de fabrication de manière à réduire l'élément principal, le prix de revient.

Mais pour se lancer immédiatement dans la voie du progrès, il faudrait que tout ce qui existe fût parfaitement connu; ce qui n'a pas lieu.

En restreignant ce vaste sujet au cas très-particulier de la deuxième fusion de la fonte de fer, nous avons été conduits à déterminer la quantité de chaleur strictement nécessaire pour fondre cette matière, c'est-à-dire la chaleur totale de la fonte en fusion, pour être à même ensuite d'apprécier le coefficient de rendement des appareils employés et les perfectionnements dont ils sont susceptibles.

Le calorimètre dont nous nous sommes servis (Pl. VIII, *fig.* 5) se compose d'une capacité cylindrique en tôle de $0^m{,}40$ de diamètre, de $0^m{,}40$ de hauteur, munie d'un couvercle percé de trois ouvertures. L'une de ces ouver-

tures, 1, a $0^m,075$ de diamètre, et sert à introduire la fonte dans l'appareil ; la seconde, 2, est centrale et laisse passer la tige d'un plateau concave p, sur lequel se dépose la fonte, supporté par des pieds de manière à ce qu'il soit complétement entouré d'eau ; enfin la troisième ouverture, 3, située près du bord, correspond à un tube intérieur percé de trous destiné à recevoir un thermomètre.

Lorsque nous avons opéré sur de la fonte liquide, nous l'avons introduite dans le calorimètre à l'aide d'un entonnoir placé sur la grande ouverture du couvercle, préalablement enduit de cendres, pour éviter qu'une partie de la matière en fusion vienne adhérer avec la surface en contact.

Le mode d'expérimentation est facile à concevoir : on mesure la température primitive de l'eau ; puis, dès que la fonte est introduite, on agite l'eau en imprimant un mouvement alternatif au plateau récepteur, et l'on note la température maximum qu'atteint le liquide. On déduit de là, par un calcul facile, la chaleur totale de la fonte introduite, en tenant compte de la capacité calorifique du vase métallique employé.

Quant aux effets du rayonnement, ils sont complétement négligeables ; en effet, à la suite de plusieurs expériences, nous avons été conduits à représenter la perte par minute due au refroidissement par la formule

$$0{,}0016\left(\frac{T_0+T}{2}-\theta\right),$$

T_0 et T étant les températures maxima et minima du calorimètre au commencement et à la fin de l'expérience, et θ la température ambiante.

Or, le maximum de température de l'eau ayant toujours été atteint au bout de deux minutes et demie au

plus, cette perte ne s'est pas élevée dans les conditions de température où nous nous sommes placés, à plus de $0°,05$, tandis que nos augmentations de température n'ont généralement pas été inférieures à $14°$. D'ailleurs, elle s'est trouvée compensée et peut-être au delà, en supposant, comme nous l'avons fait, qu'à la fin de l'opération, le calorimètre avait atteint dans toute sa masse la température finale de l'eau, tandis que sa partie supérieure et le couvercle étaient naturellement un peu moins chauds.

Le thermomètre employé nous a permis d'évaluer les températures à 1/10 de degré près.

Enfin en vue de réduire les causes d'erreur, nous n'avons pas opéré en général sur moins de 35 kilogrammes d'eau et de 2 kilogrammes de fonte.

Pour estimer facilement les poids, le calorimètre était placé sur une balance Quintenz sensible à 5 grammes près.

Nos expériences n'ont porté que sur la fonte grise au coke provenant des hauts-fourneaux de Rans et sortant en seconde fusion de l'un des cubilots de l'usine de Casamène où nos essais ont eu lieu, et qui est l'une des dépendances de la Compagnie des forges de Franche-Comté.

D'après les analyses de M. Minary, la composition moyenne de ces fontes est la suivante :

Fer.	0,9450
Silicium.	0,0195
Carbone.	0,0309
Corps non dosés ou pertes.	0,0046
	1,0000

Lorsque la fonte en fusion tombe dans l'eau, elle prend une texture concrétionnée à parois très-minces, et présentant de nombreuses cavités ; de sorte qu'il ne

peut rester aucun doute sur l'égalité de température en ses différents points à la fin de l'expérience.

Nous devons toutefois faire observer que la fonte liquide produit une décomposition partielle de l'eau, quoique très-petite, rendue apparente par une légère flamme bleue qui se manifeste lorsqu'un fragment métallique à la température rouge, reste accidentellement adhérent à l'extrémité de l'entonnoir.

Nous avons reconnu que le gaz dégagé est de l'hydrogène pur, soit par l'effet négatif obtenu dans l'eudiomètre, soit par la combustion avec flamme bleue, sans détonation sensible et sans résidu appréciable. La production de ce gaz est tellement faible, que nous avons dû employer plus de 10 kilogrammes de fonte pour en obtenir un litre ; de plus, la fonte, après l'opération, ne porte pas de traces apparentes d'oxydation. On peut d'ailleurs considérer dans de pareilles conditions la chaleur absorbée par la décomposition de l'eau, comme compensée par l'oxydation correspondante de la matière métallique.

Le poids total du calorimètre étant de $15^k,970$, son équivalent calorifique en eau est de $1^k,817$, en estimant avec M. Regnault à 0,11379 la chaleur spécifique du fer ou de la tôle. Nous avons de plus évalué à 0,13 la capacité calorifique de la fonte, pour tenir compte de la quautité de chaleur contenue dans cette matière, après chaque opération ; cette correction correspondant à une fraction très-petite, il n'y a aucun inconvénient à appliquer au cas actuel le chiffre précédent, quoiqu'il ait été déterminé pour des fontes d'une nature spéciale.

Cela posé, soient :

T_0 la température initiale du calorimètre ;

T la température finale ;

θ la température ambiante ;

Q le poids d'eau employé ;

q le poids de la fonte ;

A la chaleur totale contenue dans 1 kilogramme de fonte en fusion dans son état initial.

On a l'équation

$$qA - q \times 0,13T = (T - T_0)(Q + 1,817),$$

d'où l'on déduit

$$A = 0,13T + (T - T_0)\left(\frac{Q + 1,817}{q}\right).$$

En prenant de la fonte dans une poche, puis la versant dans le calorimètre au moment où il se manifeste à la surface un commencement de formation de croûte solide, c'est-à-dire dans le voisinage du passage de l'état liquide à l'état soiide ou pâteux, nous avons obtenu les résultats suivants (1) :

θ	T_0	T	Q	q	A
4°	8°0	22°0	36.020	2.100	255,11
3	20,0	37,0	35.030	2.500	255,45
5	11,8	26,8	35.030	2.200	254,71
4	12,2	24,6	35.030	2.000	250,07
4	11,8	24,4	35.030	1.850	254,17
5	9,1	23,5	35.030	2.040	257,72

Les différences que présentent les valeurs de A sont dues à ce que, malgré toutes les précautions que l'on peut prendre, il est fort difficile d'employer successivement de la fonte dans le même état calorifique ; tantôt elle est un peu chaude, tantôt un peu froide en renfermant peut-être quelques fragments solides. Mais d'après le tableau précédent, on voit que l'on peut consi-

(1) Nous avons indiqué les valeurs de θ, afin de pouvoir, si on le désire, faire la correction relative au refroidissement.

dérer la chaleur totale de la fonte à son dernier état de fluidité comme égale à 255 calories.

En prenant de la fonte très-chaude, puis descendant successivement jusqu'à l'état que nous venons d'étudier, nous avons obtenu les résultats suivants :

θ	T_0	T	Q	q	A
5°0	10°6	25°8	35.030	1.940	292,040
5,0	10,4	30,4	35.030	2.700	276,85
5,5	10,6	44,0	35.030	4.710	267,01
5,5	11,7	38,4	35.030	3.840	261,19
5,0	10,2	26,8	35.030	2.380	260,48
2,5	23,5	45,0	35 050	3.130	260,09
4,75	11,5	33,0	35.030	3.100	259,24

Si l'on prend dans les états successifs qu'elle présente à partir du point où elle commence à être visqueuse, on obtient

θ	T_0	T	Q	q	A
5°	10°2	25°	35.030	2.280	242,45
3	10,8	27,3	35.030	2.670	230,26
3	10,8	22,2	35.030	1.890	225,14
3	11,0	24,7	35.030	2.270	225,50

Dans les deux dernières de ces expériences, la fonte avait atteint la limite inférieure de l'état pâteux ; elle était prise dans une poche à l'aide d'une spatule préalablement chauffée.

Dans nos derniers essais, nous avons coulé préalablement la fonte dans une lingotière en sable, de forme prismatique : le prisme obtenu a été brisé en fragments et projeté dans le calorimètre. Pour de la fonte qui venait à peine d'atteindre l'état solide et qui renfermait probablement encore quelques parties liquides, nous avons obtenu

θ	T_0	T	Q	q	A
3°	23°	35°	35,030	1,670	224,93

Un refroidissement un peu plus prolongé, la fonte ayant atteint une texture pour ainsi dire grenue et peu cohérente, nous a donné

θ	T_0	T	Q	q	A
3	11,8	22	35,030	1,770	215,20

Lorsque la fonte vient à se solidifier à la surface et que l'on enlève la matière liquide intérieure, il reste une sorte de squelette dont la chaleur totale est de 215,20, les éléments correspondants étant

$$\theta = 3°,\quad T_0 = 11°,\quad T = 22°,\quad Q = 35{,}030,\quad q = 1{,}950$$

Enfin quand la matière a déjà pris un peu de consistance, on trouve $A = 204{,}40$, valeur déduite des données

$$T_0 = 24°,\quad T = 37°,\quad Q = 35{,}030,\quad q = 2{,}400$$

La chaleur totale de la fonte variant d'une manière continue avec les modifications de sa constitution physique, il n'y a pas ici à se préoccuper de la chaleur latente de fusion, expression qui doit être réservée pour les corps dont le passage de l'état solide à l'état liquide est trop rapide pour que l'on puisse étudier l'état intermédiaire, l'état pâteux à divers degrés.

Application à la fusion de la fonte dans les cubilots.

L'air lancé par les tuyères dans un cubilot dégage, en comburant 1 kilogramme de carbone, 8080 calories; les gaz obtenus consistant principalement en acide carbonique, s'élèvent dans la masse du coke incandescent, se réduisent en se transformant en oxyde de carbone, puis s'échappent dans la cheminée. Cette seconde réaction chimique fait disparaître 1637 calories ; d'où résulte que 2 kilogrammes de carbone ne produisent utilement que $8080 - 1637 = 6443$ calories, soit 3221 calories par kilogramme.

Dans le cubilot qui a servi à notre expérimentation on emploie en poids, en dehors de la mise en feu, et uniquement pour le roulement régulier, par rapport à la fonte élaborée, 1/10 de coke renfermant 12 p. 100 de cendres dont nous négligerons l'influence calorifique; chaque kilogramme de ce combustible correspond donc à 0,88 de carbone; d'où il suit que, pour fondre 1 kilogramme de fonte, on dégage utilement

$$\frac{3221}{10} \times 0{,}88 = 283{,}35 \text{ calories},$$

chiffre compris entre les limites de chaleur totale 25 et 296 calories, résultant de nos expériences. Il est bon d'ajouter que dans une coulée de plusieurs heures la fonte n'atteint pas constamment l'état calorifique correspondant à 290 calories.

Il résulte aussi de ce qui précède que les cubilots ne rendent que 56 p. 100.

Les laitiers de notre cubilot offrent la composition chimique suivante :

Silice	0,318
Alumine	0,242
Protoxyde de fer	0,224
Chaux	0,210
Magnésie	0,006
	1,000

Une moyenne d'expériences, exécutées par le procédé que nous avons employé pour la fonte, nous a donné 336 calories pour la chaleur totale de 1 kilogramme, en négligeant toutefois la quantité de chaleur relative à la température finale qui n'a pas dépassé 18°,8.

Deux essais sur les fontes blanches provenant également des hauts-fourneaux de Rans, fondues dans un creuset au fourneau à vent, nous ont donné pour la chaleur totale, au moment où une croûte commençait

à se former à la surface, 246 et 248 calories, chiffres inférieurs à ceux que nous avons obtenus pour les fontes grises, mais cette différence s'explique par la plus grande fusibilité des fontes blanches; nous ne donnons toutefois ces résultats que comme de simples approximations, en raison de ce que la grande tendance des fontes blanches à se figer, exigerait l'emploi de capacités encore plus considérables que celles dont nous nous sommes servis pour les fontes grises. Mais nous comptons revenir plus tard sur ce sujet.

Détermination expérimentale de la chaleur totale de quelques autres métaux à l'état liquide.

Nous avons employé le même calorimètre et le même procédé que pour la fonte, en appliquant la formule

$$A = cT + \left(\frac{T - T_0}{q}\right)(1{,}817 + Q),$$

c désignant la chaleur spécifique du corps, T_0, T les températures initiale et finale du calorimètre, Q et q les poids d'eau et de métal employés, A la chaleur totale cherchée.

CUIVRE ROUGE : $c = 0{,}09515$.

Q	q	T	T_0	A	ÉTAT DU CORPS.
34.030	1.150	13,6	7,8	182,0	Très-chaud.
34.100	2.000	21,3	11,4	180,0	
34.100	2.340	27,1	16,0	173,0	
34.030	1.570	16,8	9,6	166,0	États intermédiaires.
34.100	2.350	31,7	21,2	163,5	
34.100	2.700	24,6	12,6	162,0	
34.030	1.890	21,8	13,4	161,5	
34.030	1.370	20,6	14,8	154,0	
34.030	1.470	24,6	19,0	139,0	Très-froid, mais encore fluide.

La transition de l'état liquide à l'état solide est trop brusque pour le cuivre, pour que l'on puisse obtenir l'état pâteux. La dernière valeur de A paraît bien cor-

respondre à la dernière limite de fluidité, tandis que la première est relative à la plus haute température que l'on peut obtenir dans les fourneaux de fonderie.

ÉTAIN : $c = 0{,}05695$.

Q	q	T	T_o	A	ÉTAT DU CORPS.
34.100	2.150	13,4	10,6	47,5	Rouge.
»	1.150	14,5	12,6	46,0	
»	1.300	12,0	10,8	34,0	
»	1.960	12,6	11,1	28,0	Dernier état de fluidité.
»	1.600	14,3	13,2	26,0	

PLOMB : $c = 0{,}0314$.

Q	q	T	T_o	A	ÉTAT DU CORPS.
34.100	2.450	12,8	10,2	38,7	Rouge.
»	3.020	17,8	15,2	31,5	
»	3.800	16,5	14,4	20,4	
»	4.450	14,9	12,8	18,2	
»	3.110	17,5	16,1	16,7	Dernier état stable de fluidité observable.

ZINC : $c = 0{,}09555$.

Q	q	T	T_o	A	ÉTAT DU CORPS.
34.100	2.170	23,2	17,0	105,0	Rouge. Température très-élevée.
»	2.010	19,6	15,0	84,0	
»	2.350	15,0	10,0	78,0	
»	3.400	21,4	15,2	67,5	
»	2.700	15,4	10,6	63,5	Dernier état stable de fluidité.

BRONZE DE CLOCHE renfermant 20 p. 100 d'étain : $c = 0{,}08751$ (calculé d'après la règle de M. Person).

	q	T	T_o	A	ÉTAT DU CORPS.
34.100	1.870	22,6	14,4	159,5	
»	3.150	23,0	11,0	139,0	
»	2.930	23,8	13,7	126,0	
»	1.200	14,8	11,1	117,0	

BRONZE DE CANON renfermant 1/10 d'étain : $c = 0{,}09133$ (calculé).

Q	q	T	T_o	A	ÉTAT DU CORPS.
34.100	1.570	17,3	8,8	173,0	Température très-élevée.
»	1.660	16,7	9,2	164,0	
»	2.050	24,0	15,5	151,0	
»	4.570	33,0	15,0	144,5	
»	2.500	19,6	10,9	127,0	Pâteux.

LAITON : $c = 0{,}09527$ (calculé d'après une teneur de 30 p. 100 de zinc).

Q	q	T	T_o	A	ÉTAT DU CORPS.
34.100	3.500	36,2	21.0	159,5	Température très-élevée.
»	2.567	22,0	10,8	159,0	*Idem.*
»	3.200	22,6	10.6	137,0	
»	1.170	15,0	11,0	124,0	
»	1.800	19,0	13,1	119,5	Pâteux.

Ces trois derniers tableaux tendent à prouver, en ayant égard aux précédents, que la quantité de chaleur totale maxima ou minima nécessaire pour fondre un alliage, est égale à la somme des quantités analogues de chaleur nécessaires pour fondre séparément les métaux composants. On obtient en effet le tableau suivant :

	MAXIMUM DE A		MINIMUM DE A	
	obtenu.	calculé.	obtenu.	calculé.
Bronze de canon	173,0	169	127,0	127,7
Bronze de cloche.	159,5	155	117,0	116,4
Laiton.	159,5	159	119,5	119,3

qui montre que les différences entre les résultats de l'expérience directe et ceux auxquels on est conduit par l'application de la règle précédente, sont relativement très-faibles.

PROCÈS-VERBAUX

DES EXPÉRIENCES FAITES AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS SUR UNE MACHINE A AIR CHAUD D'ERICCSON.

Par M. TRESCA, ingénieur,
sous-directeur du conservatoire des arts et métiers.

(Extrait des *Annales du conservatoire des arts et métiers*, n° 4, avril 1861.)

MM. Lucquin et Clara, représentants en France de M. Ericcson, de New-York, ont fait construire par M. Kurtz une machine à air chaud, en tout semblable à celles que l'inventeur construit en grand nombre aux États-Unis. Cette machine (Pl. VIII, *fig.* 1 à 3) a été installée au Conservatoire, et des expériences de consommation et de travail ont été faites avec grand soin sur ce spécimen, dont la conduite était dirigée par un des contre-maîtres de M. Ericcson, envoyé spécialement à Paris pour cet objet. Il a lui-même mis en place les différentes parties de la machine ; il a présidé au montage, vérifié l'exactitude de toutes les pièces, et les expériences de consommation n'ont été commencées officiellement qu'après une marche prolongée suffisamment, pour qu'on se soit assuré que tous les organes fonctionnaient régulièrement, que les surfaces étaient rodées, qu'en un mot la machine était dans le meilleur état de fonctionnement.

MM. Thirion et de Mastaing, ingénieurs à Paris, ont d'ailleurs coopéré à tous les essais pour représenter, au point de vue technique, les fondés de pouvoir de M. Ericcson.

Dans les essais préparatoires, on avait reconnu que

la régularité du chauffage avait une grande influence sur la bonne marche de la machine, et cette circonstance nous a engagé à faire les déterminations définitives avec deux combustibles différents, la houille et le coke.

L'expérience au coke a été faite le 15 février 1861 ; le nombre de tours de la machine a été parfaitement régulier et de 42,26 par minute ; le temps mort était cependant très-marqué, comme il l'est en général dans toutes les autres machines à simple effet, par suite de l'insuffisance du volant ; un frein de Prony, dont le bras de levier avait $1^{m},50$ de longueur, et qui portait à son extrémité une charge de 21 kilogrammes, a été maintenu en état d'équilibre, pendant toute la durée de l'expérience, c'est-à-dire pendant $5^{h},40'$.

Le nombre total des tours accusé par un compteur a été de 13.686, et la puissance de la machine, dont les propriétaires eux-mêmes avaient réglé la marche dans les conditions les plus favorables, se trouva donnée par la formule :

$$T = \frac{2\pi \times 1,50 \times 21 \times 13686}{3600 \times 5,67 \times 75} = 1,77.$$

Dans cette formule, le temps $5^{h},67$ est estimé en heures et fractions décimales de l'heure.

Pendant le même temps, la consommation en coke de gaz a été de $41^{k},40$, dont 12,70 ont été retirés de la grille et du cendrier sous forme de scories et de cendres.

La consommation de la machine est donc de

$$\frac{41,40}{5,67 \times 1,77} = 4^{k},13$$

de coke, par force de cheval et par heure.

L'expérience à la houille a été faite le 10 février. Le

frein est resté dans les mêmes conditions que précédemment ; mais le nombre total des tours de la machine ne s'étant élevé qu'à 11155 en $5^{h},88$, ou à 36,47 par minute, la machine n'a réellement fourni que 1,61 cheval. La consommation totale en houille de Mons s'est élevée à $48^{k},10$, ce qui représente une dépense de 5,88 par cheval et par heure.

On ne saurait attribuer l'augmentation de dépense à la qualité de la houille, qui n'a laissé pour résidu que $3^{k},20$ de cendres, quantité qui ne représente que $\frac{3,20}{48,10} = 0,07$ du poids du combustible brûlé. Il faut plutôt chercher la raison de cette différence dans la plus grande difficulté de maintenir dans le foyer une température bien uniforme, avec les variations inévitables dues à la flamme de ce combustible. C'est aussi à cette circonstance qu'est dû sans doute le ralentissement de la vitesse de la machine.

Au reste, la vitesse moyenne a été parfaitement régulière, et l'on n'a pas remarqué que l'appareil marchât moins bien à la fin de l'expérience qu'au commencement. M. Ericcson a d'ailleurs pris des dispositions fort ingénieuses pour que le gaz chaud ne puisse jamais faire retour dans la partie du cylindre qui doit rester froide.

L'évaluation du travail par tour se déduit immédiatement, dans les deux expériences, des conditions d'établissement du frein ; ce travail est mesuré par

$$2\pi \times 1,50 \times 21 = 197,92 \text{ kilogrammètres.}$$

et il était intéressant de comparer ce travail disponible sur l'arbre de la machine au travail développé sur le piston. A cet effet nous avons établi un indicateur de pression sur le bâti de la machine, et nous l'avons mis en communication constante avec le gaz du cylindre

au moyen d'un tube en caoutchouc, fixé au piston moteur. La figure reproduit l'un des diagrammes obtenus à la vitesse de 35 tours par minute, en représentant la course du piston moteur par 5 centimètres, et la pression d'une atmosphère par 2 centimètres.

Pour bien comprendre les différents éléments du tracé, il est nécessaire de dire quelques mots des fonctions remplies par les deux pistons de la machine Ericcson.

L'un de ces pistons, celui qui est extérieur et qui porte le nom de piston moteur, est muni de soupapes d'aspiration par lesquelles l'air extérieur entrera dans l'espace compris entre les deux pistons, toutes les fois que la pression dans cet espace s'abaissera au-dessous de la pression atmosphérique. Quant au piston alimentaire, qui se meut à l'intérieur du même cylindre, il se rapproche du piston moteur de manière à augmenter la pression de l'air contenu entre eux, et il force cet air à se déplacer de manière à venir au contact des parois chaudes du foyer.

Ce piston alimentaire, pendant la période d'aspiration, qui est aussi celle de l'échappement de l'air qui s'est échauffé à ce contact, marche donc entre deux pressions atmosphériques égales, pendant la période d'aspiration.

Pendant les autres périodes, il est de même soumis à deux pressions égales sur ses deux faces, de manière que le seul travail moteur est en définitive celui qui est développé sur le piston moteur.

Dès lors le travail développé sur ce piston pourra être mesuré à la manière ordinaire par un indicateur de pression, au papier duquel on aura donné un déplacement proportionnel au déplacement de ce piston même.

La portion S' du diagramme représentera dans ces conditions le travail de compression effectué par le piston moteur ; la portion S indiquera le travail effectif sur ce piston, déduction faite de ce travail de compression, que l'on pourrait désigner aussi sous le nom de travail d'alimentation.

On voit par le tracé que la pression est toujours très-basse ; elle ne s'élève jamais au delà de 1,75 atmosphère, et le travail de compression, relativement très-faible, représente seulement les 0,21 du travail développé sur le piston.

La différence de ces deux quantités de travail, qui est celle comprise à l'intérieur du diagramme, s'élèverait, d'après ces données, à 427,54 kilogrammètres.

En comparant ce résultat au travail du frein, qui est de 197,92 kilogrammètres, on voit que les différents travaux sont proportionnels aux chiffres suivants :

Travail moteur sur le piston	545
Travail d'alimentation.	117
Travail disponible sur l'arbre du frein.	198
Travail dépensé par les résistances passives. . .	280

Le travail disponible ne représente que $\frac{117}{427,54} = 0,27$ du travail mesuré à l'indicateur, et l'on sait que cette utilisation s'élève dans les machines à vapeur à 0,80 environ. Il est vrai que dans le système Ericcson le travail perdu par les résistances passives s'augmente, de toutes les dépenses faites par le piston alimentaire pour déterminer la circulation des gaz, de l'extérieur à l'intervalle compris entre les pistons, de cet espace dans les canaux qui entourent le foyer, et de ces canaux dans l'atmosphère, lors de l'échappement. Quelque ingénieuses que soient les transmissions de mou-

vement de la machine Ericcson, elles sont cependant défectueuses, à ce point d'absorber en résistances passives près de trois quarts de la puissance motrice.

Cette circonstance et la faible pression sous laquelle la machine fonctionne expliquent son volume relativement considérable, qui est la principale cause du poids tout à fait exceptionnel de l'appareil sur lequel nous avons expérimenté. Il pèse 2.500 kilogrammes, c'est-à-dire plus qu'une machine locomobile à vapeur, de même puissance, avec sa chaudière. Le diamètre du cylindre est de $0^m,610$; la course du piston moteur est de $0^m,286$; et ces dimensions représenteraient une machine à vapeur de 20 chevaux.

Le capitaine Ericcson a entièrement renoncé à ses toiles métalliques dites régénérateurs; il a vu que pour recueillir dans ces toiles la chaleur emportée par l'air à l'échappement, il fallait créer des résistances, et avec elles un travail résistant qu'étaient loin de compenser les avantages résultant d'une meilleure utilisation de la chaleur.

Pour apprécier la perte ainsi faite, nous avons cherché à déterminer la température de l'air à l'échappement :

Un thermomètre à mercure nous a indiqué	270°
Dans une expérience calorimétrique faite lorsque la machine était chauffée avec le coke, nous avons trouvé	239
Dans une pareille détermination, faite le 20 février.	307
Moyenne	272

Le volume de l'air admis à chaque tour correspond à un écartement de 343,5 millimètres entre les 2 pistons, et il a par conséquent pour mesure $\pi R^2 \times 0,3435 = \pi \times 0,305^2 \times 0,3435 = 0,292 \times 0,3435 = 0^{m3},100$.

Ces 100 litres pèsent $0,100 \times 1,293 = 0^k,129$ et le poids dépensé par heure, à la marche normale de 45 tours, sera $0^k,129 \times 45 \times 60 = 348^k,3$. Le nombre des calories perdues par l'échauffement sera d'après ces données :

$$348,3 \times 272 \times 0,2669 = 25.285 \text{ calories.}$$

Cette quantité de chaleur comparée à celle que dégage la combustion de 4 kilogrammes de coke, soit 30.000 calories, fait voir que l'échappement de l'air chaud fait perdre les cinq sixièmes de la chaleur de la combustion; cette circonstance suffirait pour expliquer la consommation assez grande qui est le résultat de nos observations.

La pression maximum de 1,75 observée dans le cylindre indique que la température moyenne du gaz moteur n'est jamais fort élevée. En effet, la pression due à la compression initiale est à peine dépassée pendant la période d'échauffement, alors que le volume d'admission qui correspond à une hauteur du cylindre de 343,5 millimètres ne dépasse jamais pendant toute la durée du fonctionnement de la machine celui de 508,5, abstraction faite des espaces compris autour du foyer. Le rapport entre ces volumes étant de $\frac{508,5}{343,5} = 1,48$, on voit que la température à pression constante, pour laquelle le module de dilatation a cette valeur, ne dépasserait pas 131°. Elle est certainement plus élevée sur certains points, mais il résulte évidemment des chiffres qui précèdent que sous ce rapport la machine actuelle d'Ericcson est placée dans des conditions bien plus favorables que la plupart des machines à air.

L'air sort par un orifice de soupape, qui est fermé par un ressort tant qu'un levier mis en mouvement par

une came ne l'abaisse pas au-dessous de son siége ; dans la machine expérimentée, les organes de cette transmission donnent lieu à des chocs que l'on éviterait en partie par une disposition différente, mais ce n'est pas le seul bruit incommode de cette machine. Dans les circonstances de l'expérience l'air s'échappait dans la cheminée en produisant un ronflement très-intense, dont la sonorité de la salle n'était pas faite pour diminuer les inconvénients. Il paraît, au reste, que cet effet se rencontre dans la plupart des machines Ericcson.

Nous pensions d'après les renseignements qui nous étaient parvenus que la consommation par cheval et par heure serait moindre. Elle atteint et dépasse même celle d'une locomobile à vapeur ordinaire, mais la machine conserve toujours ce précieux avantage de n'avoir pas besoin de chaudière et de fonctionner sans eau ; c'est ce qui lui assure dans l'industrie certains emplois déterminés. Elle partage, d'ailleurs, avec les machines à gaz d'éclairage, cette propriété de pouvoir être installée au milieu des ateliers, à tous les étages d'une maison, et mieux qu'elles encore elle remplit cette condition de ne laisser dégager que de l'air pur, qui pourrait contribuer d'une manière utile à chauffer le lieu dans lequel se trouve la machine.

P. S. Depuis le moment où la première machine Ericcson fit une si grande sensation en France vers 1852, depuis la perte de cette machine lors des essais faits aux États-Unis, elle était restée presque dans l'oubli, même sur le continent américain, et c'est seulement depuis quelques années que, modifiée tout à la fois dans son principe et dans sa construction, elle est devenue po-

pulaire à New-York, mais pour les faibles puissances seulement.

Plusieurs modèles sont livrés journellement par le constructeur, mais il ne s'est pas encore écarté des types de 1 demi-cheval, 2 chevaux, 3, 4 et 25 chevaux. Ses machines de 8 et de 50 chevaux sont le résultat de la réunion, sur un même arbre, de deux machines de 4 ou de 25.

La seule industrie de New-York possède, dit-on, plus de 200 petites machines de ce genre ; il n'existe encore que deux machines de 50 chevaux.

Ce mouvement si marqué vers l'emploi des machines à air chaud avait été attribué surtout à la faible consommation annoncée, mais il résulte des renseignements qui nous ont été fournis par le contre-maître de M. Ericcson que cette consommation, pour les machines semblables à celle que nous avons expérimentée, est à fort peu près la même.

Cette concordance donne à notre constatation un intérêt de plus, et cet intérêt nous engage à entrer dans quelques détails sur les particularités très-remarquables du nouvel appareil.

Si nous supposons qu'un corps de pompe horizontal soit fermé à l'une de ses extrémités par un couvercle fixe, A, portant une soupape d'aspiration ; à l'autre extrémité par un couvercle, B, également fixe, fermé par une soupape qui puisse s'ouvrir de dedans en dehors, lorsque la pression intérieure aura atteint une certaine limite, et si dans ce corps de pompe on imagine de faire mouvoir un piston C, muni d'une soupape en tout semblable à celle du premier couvercle, il est facile de voir quels seront les divers effets d'un pareil système.

Si le piston C, d'abord au contact du couvercle, A,

se meut de A vers B, le vide se fera en amont de ce piston, et l'air se précipitera par la soupape d'aspiration de manière à remplir l'espace développé par ce piston. En même temps l'air contenu dans le cylindre, en aval du piston, sera comprimé et bientôt s'échappera par la soupape d'échappement, lorsque la pression sera devenue suffisante. Au retour du piston la soupape du piston s'ouvrira seule, et l'air qui vient d'être admis dans la première chambre du cylindre passera dans la seconde chambre par cette ouverture.

On aura ainsi une véritable pompe à air, aspirante et foulante, qui, pendant un de ses parcours, aspirera et refoulera tout à la fois, et qui lors du mouvement en sens contraire du piston ne produira d'autre effet que de déplacer d'une chambre à l'autre l'air aspiré l'instant précédent.

Le piston de cette pompe constitue le piston alimentaire de la machine Ericcson; sa soupape s'ouvre dans le même sens et aussitôt que la pression dans la chambre d'amont devient un peu supérieure à celle de la chambre d'aval.

Si le mouvement du piston est déterminé par la rotation d'un arbre moteur, les mêmes circonstances pourront se reproduire pour chacun des tours de cet arbre, et le volume d'air dépensé sera chaque fois mesuré par le volume du cylindre, compris entre le couvercle A et la position extrême de la face intérieure du piston C.

Supposons maintenant que l'on remplace le couvercle A par un piston, qui puisse lui-même se mouvoir dans le corps de pompe, les mêmes faits se reproduiront à la condition que le piston A marchera plus vite que le piston C pendant la période d'aspiration, et le volume d'air débité ne sera plus mesuré que par le plus grand volume compris, dans le cylindre, entre les

deux faces en regard des deux pistons, dans l'une de leurs positions simultanées. Si ensuite les deux pistons se rapprochent, cet air emprisonné entre eux passera, comme dans l'hypothèse précédente, à l'aval du piston C, pour ensuite être expulsé par le couvercle B. Ce qui caractérise essentiellement la machine Ericcson, c'est que ce couvercle B est formé par les parois chaudes d'un fourneau, et que l'air en passant de la chambre d'amont s'échauffe, tend à se dilater et augmente de pression à ce contact. Cet échauffement s'opère pendant que les deux pistons se rapprochent, et par conséquent pendant que la soupape du piston est ouverte, en telle sorte que, comme précédemment, ce piston C, pressé de la même manière sur les deux faces, ne remplit d'autre office que de faire passer l'air du froid au chaud.

Quant au piston extérieur A, que l'on désigne avec raison sous le nom de piston moteur, il est toujours soumis par sa face externe à la pression atmosphérique, et c'est seulement sur sa face interne que se développeront successivement des efforts variables.

Pendant la période d'aspiration, cette face interne n'est soumise qu'à la pression atmosphérique, même un peu amoindrie; pendant la période de déplacement, elle est au contraire poussée par la pression, peu variable d'ailleurs, qui résulte à la fois du changement de volume et du changement de température.

Ce déplacement s'opère dès avant la fin de la course du piston moteur, aussitôt que son mouvement devient plus rapide que celui du piston alimentaire, et dans cette période la pression la plus grande s'exerçant en sens contraire de la marche de ce piston, on voit qu'il se produira un travail résistant en tout semblable au

travail de compression de certaines machines à vapeur.

Ces trois phases, l'alimentation, la compression et l'action, sont nettement caractérisées par le diagramme (*fig.* 3, Pl. VIII). Pour en apprécier avec exactitude les différents éléments, il est nécessaire d'étudier les organes qui déterminent les mouvements relatifs des deux pistons ; mais avant d'aborder cette étude, il importe de bien caractériser le fonctionnement de la machine elle-même.

On voit qu'elle ne diffère de la pompe à air ordinaire qu'en ce que l'air est chauffé avant son expulsion, et que pendant cet échauffement il agit par l'augmentation de volume et de pression qui en résulte, sur un piston moteur, ramené à chaque tour à sa position primitive, pendant que l'air traverse sa soupape d'aspiration, et par conséquent sans que ce mouvement en sens contraire donne lieu à une dépense notable de travail.

Le travail d'alimentation est presque nul, et l'on voit par le diagramme que les mouvements sont assez bien combinés pour que la pression atteignant son maximum au commencement de la course du piston moteur, s'y maintienne jusqu'à la période de détente, qui se produit un peu après le milieu de cette course. Ce résultat ne pouvait être réalisé que par une relation convenable entre le mouvement du piston alimentaire qui détermine l'échauffement d'une plus ou moins grande quantité d'air, et le mouvement du piston moteur qui détermine le volume total.

Il était d'ailleurs nécessaire que le volume compris entre les deux pistons, pendant l'échauffement, se réduisît constamment dans une proportion telle que l'air chaud n'eût aucune tendance à rentrer dans cet espace, auquel cas les conditions fondamentales du fonctionnement auraient pu être troublées d'une manière notable. Si la portion du cylindre, dans laquelle se fait l'alimentation, pouvait s'échauffer, il ne pouvait y entrer qu'un moindre poids d'air à chaque pulsation, et par suite l'action de la chaleur du foyer ne produirait plus des effets aussi considérables.

Quant aux organes de transmission qui déterminent les déplacements successifs du piston alimentaire et du piston moteur, nous en devons à l'obligeance de M. Mastaing une étude complète, d'autant plus intéressante qu'elle démontre avec quelle facilité la combinaison des bielles et des manivelles permet de résoudre les problèmes les plus compliqués des mouvements relatifs. On verra par les détails qui suivent avec quelle précision M. Ericsson a satisfait aux conditions assez complexes des mouvements de ses deux pistons.

Mouvement du piston moteur. — Soient (Pl. IX, *fig.* 8) O le centre de l'arbre du volant que nous considérerons comme l'arbre moteur, D le centre d'un arbre intermédiaire, OA représentera la manivelle du premier arbre, DE la manivelle du second, et le point E sera en outre assujetti à se tenir constamment à la même distance AE de l'extrémité mobile A de la première manivelle. Par suite de cette disposition, il est facile de voir que le point E décrira l'arc PQ du centre D, et que le point E′ de la manivelle DE décrira en même temps l'arc P′Q′ : c'est ce point E′ qui, au moyen d'une petite bielle articulée, dont l'emploi est nécessaire pour compenser la courbure de l'arc P′Q′, détermine le déplacement du piston moteur.

Dans la machine dont nous nous occupons OA = 244,6 millimètres, AE = 571,7, DE = 844,5 millimètres, OD = 1450 ; DE′ = 489 millimètres ; et si l'on fait l'épure de la transmission, on trouve que PQ =

285 millimètres; cette dernière longueur donne la mesure de la course du piston moteur.

Pour déterminer la loi du mouvement du piston moteur, en partant de l'hypothèse d'une rotation uniforme de l'arbre O, M. de Mastaing a pu simplifier les constructions de la manière suivante.

Si l'on réduit DA en DA′ dans la même proportion que DE en DE′, au moyen d'une parallèle A′E′ à AE, et si l'on mène A′O′ parallèle à AO, le point O′ pourra être considéré comme le centre d'un cercle de rayon A′O′, dont tous les points resteront à distance constante de l'arc P′Q′ qu'il s'agit de décrire. On tracera donc ce cercle de rayon A′O′ = 141,8 millimètres, en prenant DO′ = 605 millimètres; et l'on se bornera à tracer la suite des points E′ qui se trouveront à la fois à une distance A′E′ = 331,6 millimètres de chacun des points de la circonférence A′O′ et à une distance DE′ = 489,1 millimètres du point fixe D.

Déterminé par l'une ou l'autre méthode, le mouvement du point E′ est très-variable : d'abord très-lent à partir du point Q′, il s'accélère progressivement, et il décrit l'arc P′Q′, dans le sens de Q′ à P′, plus rapidement que dans le sens contraire.

Mouvement du piston alimentaire. — La transmission du mouvement au piston alimentaire est tout à fait analogue. O (*fig.* 7) est toujours le centre de l'arbre moteur; OA la même manivelle que précédemment; C est un autre point fixe, qui a pour manivelle CB; et le point B est assujetti, au moyen d'une bielle AB, à décrire l'arc MN de la figure ci-jointe. Les données numériques sont les suivantes : OC = 675 millimètres; CB = 622,7 millimètres; AB = 876,3 millimètres; quant au point B″ qui doit conduire le piston alimentaire, il est placé à une distance CB″ = 393,9 millimètres du point fixe C.

Une simplification analogue à la précédente peut être apportée dans l'épure du mouvement relatif. Il suffit, en effet, de mener la parallèle A″B″ à AB, d'arrêter cette parallèle en sa rencontre en A″ avec AC; de déterminer le point O″ d'intersection avec OC, de la parallèle A″O″ à AO, et de décrire une circonférence du point O″ comme centre avec OA pour rayon; on pourra considérer le déplacement du point B″ comme étant directement obtenu par cette double condition qu'il devra rester dans toutes ses positions à une distance A″B″ = 552 millimètres de l'extrémité de la manivelle A″O″ et à une distance CB″ = 393,9 millimètres du point fixe C. Le mouvement du piston alimentaire est d'abord beaucoup plus rapide que celui du piston moteur, mais il se ralentit ensuite et l'arc N″M″ est décrit dans un temps beaucoup plus court que l'arc M″N″.

On reconnaît sur le dessin que la corde M″N″ n'est pas horizontale, ce qui serait un grand inconvénient si le point B″ devait, comme nous l'avons indiqué, conduire la tige horizontale du piston : pour éviter cet inconvénient, Ericcson détermine, en réalité, son mouvement par l'extrémité B′ d'une autre manivelle calée sur le même arbre C sous un certain angle B″CB′ = 7°, qui est celui qui convient, pour que les deux extrémités de l'arc décrit du point B′ soient à la même hauteur. La courbure de l'arc décrit par le point B′ est d'ailleurs rachetée par un assemblage à rotule.

Il ne serait pas possible, avec les dimensions dont nous disposons dans nos gravures, de reproduire avec une exactitude suffisante les courbes représentatives des mouvements des deux pistons; mais la table suivante, extraite de l'épure de M. de Mastaing, y suppléera pour ceux de nos lecteurs qui voudront se rendre compte

de tous les détails de cette singulière transmission. Les déplacements des deux pistons sont comptés, à partir de la position de la manivelle, qui correspond à la position extrême du piston moteur.

ANGLE DÉCRIT par la manivelle.	PARCOURS DES PISTONS à partir de l'extrémité de leur course.		DISTANCE du piston alimentaire au 0 du piston moteur.	DISTANCE entre les faces intérieures des deux pistons.
	Moteur.	alimentaire.		
			mill.	mill.
0	0	37,5	28,0	65,5
10	2,5	89,0	117,0	119,5
20	11,0	168,0	196,0	185,0
30	24,5	235,5	263,5	239,0
40	42,5	302,0	330,0	287,5
50	64,5	357,0	385,0	320,5
60	88,0	397,0	427,5	339,5
70	114,5	430,0	458,0	343.5
80	142,0	448,5	476,5	338,5
90	168,5	467,0	495,0	326,5
100	193,0	476,0	504,0	311,0
110	218,0	482,0	510,0	292,0
120	239,0	484,0	512,0	273,0
130	255,5	481,0	509,0	253,5
140	268,5	476,0	504,0	235,5
150	277,5	468,5	496,5	219,0
160	283,0	458,5	486,5	203,5
170	285,5	447,5	475,5	188,0
180	285,0	429,5	457,5	172,5
190	282,0	411,0	439,0	157,0
200	276,5	388,5	416,0	139,5
210	269,0	363,5	391,5	122,5
220	259,5	336,5	364,5	105,0
230	248,0	307,0	335,0	87,0
240	233,0	273,5	301,5	68,5
250	216,0	241,0	269,0	53,0
260	196,5	226,5	234,5	38,0
270	174,5	172,0	200,0	25,5
280	150,5	137,0	165,0	14,5
290	124,5	124,5	152,5	8,0
300	97,5	74,0	102,0	4,5
310	71,5	47,0	75,0	3,5
320	48,0	24,5	52,5	4,5
330	27,0	10,0	38,0	8,0
340	12,0	0,0	28,0	16,0
350	2,5	28,5	56,5	34,0
360	0	37,5	65,5	65,5

De l'angle 0 à l'angle 70°, les deux pistons marchent dans le même sens, et leur écartement varie de 65,5 à 343,5 millimètres ; c'est la fin de la période d'aspiration.

De 70° à 170 les deux pistons marchent en sens contraires : ils se rapprochent de 343,5 à 188 millimètres. A partir de 170° le mouvement du piston moteur change de sens et l'espace compris entre les deux pistons va toujours en diminuant jusqu'à 3,5 millimètres, écartement minimum qui correspond à l'angle de 510. Les deux pistons achèvent alors leurs périodes rétrogrades qui se terminent pour l'un à 360°, pour l'autre à 340, mais de manière que leur écartement aille toujours en augmentant de 3,5 à 65,5 millimètres ; déjà dans cette dernière période l'aspiration se produit entre les deux pistons.

Quant à l'échappement qui est déterminé, ainsi que nous l'avons dit, par une came, il s'ouvre seulement à 344° et se ferme à 69°, et il ne se produit par conséquent que pendant une partie seulement de la période d'aspiration.

Le volant est muni d'un contre-poids dont la position est telle qu'il agit pendant l'aspiration, mais le moment d'inertie de ce volant n'est pas suffisant pour rendre la marche parfaitement uniforme. Le poids total de cet organe ne s'élève pas à moins de 450 kilogrammes, dont 325 pour la demi-circonférence la plus lourde ; le diamètre est de 1m,80, et toutes ces quantités sont fort grandes eu égard à la puissance de la machine.

Il serait certainement impossible de prédire dès à présent le succès qui est réservé à cette machine, et l'on nous pardonnera d'être à cet égard plus réservés qu'on ne paraît l'être de l'autre côté de l'Océan.

Au point de vue de la consommation constatée par nos expériences, la machine Éricsson supporte dès à présent la comparaison avec les petits moteurs à vapeur ; elle n'entraîne pas l'obligation d'une chaudière

et elle est par conséquent absolument inexplosible; sa mise en feu est prompte, l'air de l'échappement n'étant pas vicié peut sans inconvénient être répandu dans l'atelier même, auquel cas nous oserions dire, malgré la singularité de cette assertion, que la machine constituerait un excellent calorifère. Voilà certainement un grand nombre d'avantages qui en recommandent l'emploi.

Elle serait sans aucun doute précieuse pour certaines opérations de l'agriculture et de l'exploitation en forêt, toutes les fois que l'approvisionnement d'eau serait difficile. Il ne faut pas oublier à cet égard que chaque kilogramme de charbon exige dix kilogrammes d'eau, et qu'une machine de quatre chevaux par exemple n'exige pas moins d'un hectolitre d eau par heure, quantité que l'on ne peut souvent se procurer que par un service de chevaux très-onéreux. Cette application des machines Éricsson serait surtout précieuse s'il était possible de les faire fonctionner avec du bois ou de menus combustibles végétaux, et si l'irrégularité de la chaleur dégagée par ces combustibles n'était pas un obstacle à la bonne marche de la machine.

Mais ce qui nous préoccupe surtout dans ces applications, c'est la permanence d'un bon fonctionnement. Les organes sont beaucoup plus multipliés que dans une machine à vapeur : le voisinage du foyer est pour la cloche du piston alimentaire un danger permanent; les soupapes sont sujettes à de nombreuses réparations, et cette observation est surtout importante quant aux clapets du piston alimentaire, dont la visite ne peut se faire que par un ouvrier expérimenté.

Cette difficulté de démontage, le jeu que prendront certainement les trop nombreux organes de la transmission, nous paraissent commander une grande

réserve pour l'emploi de cette machine ingénieuse, loin des lieux où les réparations pourraient se faire.

Explication des figures.

La *fig.* 1, Pl. VIII, est une coupe longitudinale faite par l'axe de la machine.

La *fig.* 2, une coupe transversale faite par la boîte à feu.

O, arbre du volant de la machine, sur lequel est fixée la manivelle O.

A, piston moteur muni de la soupape à contre-poids *a*, dont une seule est représentée sur le dessin.

B, arbre intermédiaire servant à la transmission du mouvement au piston moteur, au moyen de la manivelle *o*, de la bielle *p*, de la manivelle *q*, et de la petite bielle articulée *r*.

F, piston alimentaire muni de la soupape de refoulement *f*, d'une capacité F′ remplie de matière non conductrice, et des parois F″ de la cloche qui en forme le prolongement; *f*′, enveloppe fixe en tôle forçant les gaz à circuler jusqu'à la bouche du foyer lorsqu'ils passent sous la cloche du piston.

C, arbre intermédiaire servant à la transmission du mouvement au piston alimentaire, au moyen de la manivelle *o*, de la bielle *s*, de la manivelle *t* et de la manivelle *u*, calée sur l'arbre C sous un angle de 7° par rapport à la manivelle *t*.

D, soupape d'échappement, tenue fermée par le ressort *d*, et s'ouvrant au moyen de la came D′ et du levier D′ sur lequel cette came agit au moyen d'un galet.

G, cloche en fonte constituant la boîte à feu; *g* barreaux de la grille; G′ plaques de fonte destinées à abriter la cloche contre le coup de feu.

H, cheminée dans laquelle les gaz de la combustion

sont amenés par les carneaux *h*, garnis de terre réfractaire.

I, porte du fourneau, avec double fond pour éviter autant que possible la radiation ; les parois latérales du fourneau sont également abritées par une double enveloppe *j*.

K, arbre destiné à ramener, au moyen des cliquets *k* et des encoches *k'* du volant, les deux pistons à la position convenable, lors de la mise en train de la machine.

PROCÈS-VERBAL

DES EXPÉRIENCES FAITES SUR LES MOTEURS A GAZ DE M. LENOIR.

Par M. TRESCA, ingénieur,
sous-directeur du conservatoire des arts et métiers.

(Extrait des *Annales du conservatoire des arts et métiers*, n° 4, avril 1861.)

La machine Lenoir fonctionne déjà dans plusieurs ateliers, l'attention publique est plus que jamais fixée sur elle, et l'on nous saura gré de faire connaître les résultats que nous avons constatés sur deux de ces machines, qui ont été successivement mises à notre disposition et dont nous avons pu étudier la marche avec soin.

Nos expériences datent des 7 et 8 janvier 1861 ; elles ont été faites sur une machine construite par M. Marinoni, et dont les dimensions étaient les suivantes (Pl. IX, *fig.* 1 à 6) ; course, $0^m,10$; diamètre, $0^m,18$. D'après ces éléments, la section du cylindre était de 0,0255 mètre carré, et le volume développé par chaque course du piston de 2,55 litres.

On sait que, dans les machines de ce système, une partie de la course du piston est employée à faire entrer par aspiration, dans le cylindre, de l'air atmosphérique et du gaz d'éclairage, en proportions déterminées, par les ouvertures de certains orifices du tiroir. Au moment où ces orifices se ferment, par suite du déplacement de cet organe principal, une étincelle d'induction enflamme le mélange ; une élévation de température plus ou moins considérable est le résultat de

cette inflammation et des combinaisons qui en résultent; les gaz chauffés acquièrent une pression plus considérable, en vertu de laquelle ils pressent sur le piston jusqu'à la fin de sa course. Lorsque le piston revient sur lui-même, les gaz produits s'échappent dans l'atmosphère, et les mêmes effets que nous venons de décrire se passent successivement de l'autre côté du piston, la machine étant à double effet et l'inflammation s'effectuant tantôt dans l'une des chambres du cylindre, tantôt dans l'autre.

Afin que l'inflammation soit complète, les nouveaux tiroirs de M. Marinoni sont formés d'une plaque à faces parallèles qui glissent entre deux plans bien dressés, l'un appartenant au cylindre de la machine, l'autre à la boîte dans laquelle s'effectue l'arrivée du gaz. Cette plaque présente deux séries d'orifices qui correspondent respectivement aux deux ouvertures d'admission, placées vers les deux extrémités du cylindre. Les orifices d'introduction du gaz d'éclairage sont formés par des tubes rapportés laissant entre eux autant d'intervalles qui communiquent avec l'air extérieur par l'épaisseur même du tiroir; l'air et le gaz arrivent ainsi par filets parallèles et se mélangent régulièrement.

L'échappement se fait aussi par un tiroir distinct, qui fonctionne de l'autre côté du cylindre et qui offre issue aux gaz brûlés par deux orifices séparés, correspondant aux deux chambres du cylindre. A part le fractionnement des orifices, cette disposition rappelle celle qui a été employée dans certaines machines de bateaux, dans lesquelles l'échappement avait lieu par des orifices spéciaux.

La chaleur dégagée par la combustion amènerait bientôt le cylindre à une température trop élevée si on ne le refroidissait par un courant d'eau continu,

qui, après avoir circulé autour des orifices de distribution, entoure le cylindre et s'écoule par un tube adapté en son milieu, à côté du robinet de graissage. Bien que l'eau qui a servi au refroidissement retourne habituellement, en vertu de la différence des températures, dans le réservoir même d'où elle est sortie, il nous a paru intéressant de la recueillir à part et de déterminer le nombre de calories que cette eau enlève au cylindre, en service courant.

L'inflammation des gaz se fait au moyen d'un appareil d'induction mis en action par deux éléments de Bunsen. La bobine est mise en communication par un de ses pôles avec un conducteur isolé dont la communication avec deux bandes de cuivre s'établit aux instants convenables, au moyen d'une languette de même métal, qui frotte constamment sur ce conducteur; cette languette et le galet qui la porte obéissent d'ailleurs au mouvement de la tige du piston, avec laquelle ils sont en quelque sorte solidaires. Quant aux deux bandes de cuivre, elles communiquent respectivement avec deux fils aboutissant chacun à l'un des inflammateurs.

Ces inflammateurs sont formés d'un fil de platine, isolé dans l'axe d'un boulon au moyen d'un tube de porcelaine, et d'un autre fil de même métal en communication par le boulon avec le métal même du cylindre. Celui-ci forme un des pôles du circuit, tandis que l'autre aboutit au fil isolé. Aussitôt que le contact est établi par la languette avec la bande de cuivre correspondante, l'étincelle jaillit entre les deux fils et enflamme le mélange explosible; les choses sont ainsi disposées que l'inflammation a lieu un peu après que le piston a parcouru la moitié de sa course.

Il nous a paru nécessaire de déterminer la pression

à laquelle s'élevait à chaque fois le gaz après cette inflammation.

Dans les expériences faites sur cette première machine, le gaz était mesuré par un compteur ordinaire estampillé, mais non vérifié spécialement, en vue de ces expériences de consommation.

Un frein a d'ailleurs été établi sur la machine pour apprécier sa puissance, et le nombre de tours a été compté de 5 en 5 minutes, à l'aide d'une montre à pointage.

Le samedi 5 janvier, quelques constatations préliminaires nous ayant fait voir que la machine ne fournissait pas intégralement la force motrice pour laquelle elle avait été livrée, nous avons demandé que le constructeur fût appelé pour mettre tous les organes dans le meilleur état de fonctionnement, et nos expériences définitives n'ont été commencées que le 7, en présence de l'ingénieur de M. Marinoni, et sur sa déclaration que toutes les réparations avaient été faites; il a lui-même réglé le frein à la charge qu'il a considérée comme la plus avantageuse, au point de vue de la meilleure utilisation du combustible.

C'est dans ces circonstances qu'ont été relevées les différentes indications qui suivent et qui se rapportent à une expérience prolongée depuis 1 heure jusqu'à 4 heures 44 minutes.

Tableau du nombre des tours et de la consommation de la machine à gaz.

Heures des observations.	Nombre des tours de la machine par minute.	Consommations indiquées par le compteur.	OBSERVATIONS.
h. m.	tours.	m. c.	
1 00	»	»	Mise en marche.
1 5	153	»	
1 10	»	»	Arrêt pendant 20 secondes par suite de non-inflammation.
1 15	126	»	
1 25	119	»	Arrêt de 10 minutes, employé par l'ingénieur de M. Marinoni à régler la dimension des orifices.
1 40	136	»	
1 45	122	»	
1 55	140	»	
2 00	134	»	
2 5	»	»	Arrêt par suite de non-inflammation; on remet immédiatement en marche.
2 8	»	1	
2 15	133	»	
2 30	133	»	
2 40	130	»	
2 50	128	»	
3 00	140	3	
3 15	139	»	
3 30	136	»	Arrêt pendant 1'30" pour modifier la course du tiroir.
3 38	»	»	
3 44	»	5	Arrêt pendant 30 secondes pour régler le tiroir à la course primitive.
3 46	138	»	
4 5	129	»	
4 15	126	»	
4 30	127	»	
4 35	125	»	
4 44	102	7	Fin de l'expérience.

La machine a généralement bien marché, bien que l'absence d'une seule inflammation fût suffisante pour l'arrêter; on voit que cette circonstance ne s'est présentée que deux fois pendant toute la durée d'une expérience de 3 h. 32 m., déduction faite de tous les temps d'arrêt. La vitesse a toutefois présenté des irrégularités notables, si ce n'est pendant la dernière période, de 3 h. 46 m. à 4 h. 44, qui comprend 1h 8', et qui devra être, par suite de cette régularité, considérée comme la plus convenable pour la détermination de la consommation.

1° *Puissance de la machine.*

La longueur du bras du levier du frein mesurait $1^{m},25$; la charge du plateau était de $2^{k},50$; le travail par tour était donc donné par le produit $2\pi \times 1,25 \times 2,50 = 19,63$ kilogrammètres.

Le nombre des tours par $1'$ étant en moyenne de 130,67, la puissance effective de la machine sera exprimée en chevaux par la relation, $\frac{130,67}{60} \times \frac{19,63}{75} =$ 0,57 cheval, pour l'expérience entière.

Pour la dernière période seulement, qui donne pour moyenne 129 tours par $1'$, elle serait seulement de 0,56 cheval.

2° *Consommation par cheval et par heure.*

Cette évaluation devra se faire pour l'expérience totale en répartissant les 7 mètres cubes de consommation en 3 h. 32 m., et 0,57 cheval, ce qui donne :

$$\frac{7}{3^{h},32' \times 0,57} = 3,476 \text{ mètres cubes.}$$

On trouve un chiffre un peu moins élevé quand on calcule seulement sur la dernière période, car il vient alors :

$$\frac{2}{1^{h},8' \times 0,56} = 3,166.$$

Ce chiffre nous paraît plus exact que le précédent, et il démontre que dans les conditions de l'expérience, et pendant tout le temps de son fonctionnement régulier, la machine a consommé un peu plus de 3,000 litres de gaz par force de cheval et par heure.

3° *Chaleur perdue par l'eau de circulation.*

L'eau employée au refroidissement du cylindre s'est élevée à 147 litres, à la température primitive de 14°.

Une partie de cette eau a été réduite en vapeur, et l'on a recueilli en outre 129 kilog. d'eau à 95°. On doit donc admettre que la chaleur emportée par l'eau de circulation est mesurée ainsi qu'il suit :

	calories.
129^{k} d'eau à 95° ayant absorbé 129×81. .	10449
18^{k} de vapeur à 100° ayant absorbé 18×650.	10700
Total.	22149

Si l'on compare cette quantité de chaleur à celle qui a été dégagée par la combustion, soit $7 \times 6000 = 42000$, on voit que la chaleur perdue par l'eau de circulation s'élève à $22149 : 42000 = 0,527$ de la chaleur totale développée par la combustion.

La perte serait plus considérable si l'on y comprenait celle qui résulte de la quantité de chaleur emportée par les gaz brûlés.

4° *Proportion dans laquelle les gaz sont mêlangés.*

Dans la dernière période, une consommation de 2^{me} de gaz d'éclairage a été faite en 1 h. 8 m., alors que la machine faisait en moyenne 129 tours par 1 m.; cette consommation correspond donc à $129 \times 68 = 8772$ tours de la machine, ou 17544 coups de piston.

L'introduction étant fermée à la moitié de la course du piston, si l'on recourt aux dimensions que nous avons données du cylindre, on verra que ces 8772 tours représentent un volume total de $8772 \times 2,55 =$ 22368 litres, dans lequel le volume de gaz d'éclairage entrerait seulement pour 2000 litres ou pour 0,09 environ du volume total.

5° *Mesure de la pression développée dans le cylindre.*

Nous avons à plusieurs reprises tracé quelques diagrammes avec un indicateur de pression dont le ressort fléchissait de 11,71 millimètres par atmosphère. La plus grande ordonnée était de 57 millimètres et correspondait par conséquent à une pression de 57 : 11,71 = 4,87 atmosphères au-dessus de la pression atmosphérique, ou à une pression totale inférieure à 6 atmosphères.

Les pressions développées ne sont donc pas, dans les machines à gaz, supérieures à celles que l'on emploie habituellement dans les machines à vapeur. Le ressort de l'indicateur était plus violemment lancé que s'il avait été mis en mouvement par de la vapeur à cette pression. L'effort est ici plus soudain, et la pression s'abaisse beaucoup plus rapidement que ne le ferait celle de la vapeur, pour les mêmes variations de volume.

L'inflammation, d'ailleurs, paraît déterminer des pressions très-différentes entre elles. On voit aussi que cette inflammation ne se produit pas exactement au même point de la course, et qu'ainsi l'effort moteur maximum varie beaucoup quant au moment où il se produit.

6° *Examen des gaz à l'échappement.*

Nous avons recueilli à l'échappement une certaine quantité de gaz brûlé; analysé par M. Carlet, il ne contenait que des traces d'hydrogène et d'oxyde de carbone ; la combustion était donc, lors de nos expériences, à peu près complète.

Nous pourrons d'une manière générale résumer les conditions générales de cette première expérience ainsi qu'il suit :

Le gaz d'éclairage entre dans le mélange détonant pour le dixième du volume total.

Il paraît être brûlé presque complétement.

La consommation par heure et par cheval est d'environ 3 mètres cubes.

L'eau de circulation entraîne au moins la moitié de la chaleur dégagée par la combustion.

Une machine à gaz de cette dimension fournit environ la puissance d'un demi cheval-vapeur, en marchant à 130 tours par minute.

Nous compléterons ces indications par quelques observations pratiques.

La vitesse de la machine est très-variable.

La non-inflammation d'une seule admission de gaz suffit pour arrêter la machine.

Lors de la mise en marche, il faut faire faire au volant plusieurs tours, le robinet de graissage restant ouvert.

Le graissage doit être abondant et renouvelé tous les quarts d'heure environ, si l'on veut conserver une marche à peu près constante.

La dépense en huile ne peut pas s'estimer à moins de 500 gram. par jour; c'est au reste le chiffre qui nous a été indiqué par le mécanicien chargé de conduire la machine.

Pour obtenir les meilleurs effets, la pratique de M. Marinoni lui a indiqué qu'il fallait produire l'inflammation avant la fermeture complète du tiroir.

Quant à la comparaison entre le prix de revient de la force motrice avec celle des machines à vapeur, nous croyons qu'il vaut mieux ne la faire que quand nous aurons à notre disposition des résultats plus nombreux et plus suivis.

EXPÉRIENCES DU 15 AU 25 MARS.

Nous désirions, avant de donner aucune publicité aux expériences précédentes, les vérifier sur une machine un peu plus grande; l'une d'elles venait d'être livrée par M. Marinoni, comme étant d'une puissance double, et elle a été mise à notre complète disposition. Pensant que les diverses déterminations seraient plus exactement faites avec les moyens dont nous disposons au Conservatoire, nous l'avons installée dans la grande salle des machines en mouvement. Cette installation a été facilitée par la bonne disposition du bâti de cette machine, qu'il a suffi de placer sur une fondation solide pour que le frein pût y être appliqué et se maintînt parfaitement en équilibre pendant une marche très-prolongée.

Le cylindre de cette machine avait 24 centimètres de diamètre; la course du piston était de 12 centimètres. Le volume calculé avec ces éléments s'élève à 0,00543 mètres cubes, ou 5,43 litres. L'admission se faisant pendant un peu plus de la moitié de la course, nous admettrons que le volume total d'admission, pour chaque tour ou pour deux coups de piston est de 5.5 litres; cette évaluation, à fort peu près exacte, simplifiera les calculs.

La machine, dans toutes ses parties, était parfaitement exécutée; elle était munie de deux volants inégaux, formant poulies; les tiroirs en bronze, pour l'admission et l'échappement, reposaient parfaitement sur leurs siéges; une circulation d'eau était fort habilement disposée autour des orifices d'échappement et du cylindre; la forme de tous les organes était parfaite; en un mot la construction était celle d'une machine bien étudiée

dans tous ses détails. Quant aux dispositions, elles différaient très-peu de celles que nous avons décrites précédemment, et l'on pourra voir par le dessin que nous en donnerons toutes les dispositions des organes.

On a installé un compteur à gaz sur le tuyau d'admission, et ce compteur est constamment resté en communication avec un petit gazomètre, qui contenait environ 300 litres, et qui était alimenté par le gaz courant; le tuyau d'amenée au gazomètre était d'un diamètre assez grand pour que cet appareil ne se vidât pas pendant le travail de la machine, et il n'avait dès lors d'autre effet que de servir de réservoir intermédiaire, amoindrissant les différences de pression que pouvait produire la succion du gaz pendant la période d'aspiration. Dans chaque expérience la pression est restée sensiblenent constante; elle n'a varié d'une expérience à l'autre que de 15 à 25 millimètres d'eau, au-dessus de la pression atmosphérique.

Ce gazomètre devait, en outre, nous servir pour contrôler les indications du compteur. A plusieurs reprises nous avons fait passer le contenu de la cloche dans le compteur et nous avons trouvé que les indications de cet instrument représentaient, à un cinquantième près, le volume réellement extrait du gazomètre, même quand l'écoulement avait lieu par saccades et par la succion même de la machine. On sait que les compteurs à gaz ne mesurent pas toujours avec une pareille exactitude, et il était indispensable, pour l'objet que nous nous proposions, que le nôtre, bien que contrôlé, fût à nouveau reconnu exact.

Dans toutes nos expériences, le même compteur, dit de 30 becs, a servi à mesurer le gaz; le nombre des révolutions de la machine a été enregistré par un compteur de tours; l'eau de circulation a été mesurée

avant et après son emploi dans des mesures métriques ; le même frein a servi à calculer le travail ; il avait été préalablement équilibré ; son bras de levier avait 1,50, et le poids supplémentaire appliqué à l'extrémité du frein est resté constant pendant toute la durée d'une même expérience, bien qu'il ait varié d'une expérience à l'autre entre les limites de $1^k,75$ à $4^k,50$. Le travail par tour était, au maximum, de 42,42 k., au minimum de 16,50 ; mais cette dernière circonstance ne s'est présentée que lorsqu'on a volontairement gêné l'arrivée du gaz, de manière à reconnaître l'influence d'une consommation réduite jusqu'à exagération.

L'admission normale du gaz d'éclairage était d'environ 0,420 litre par tour ; elle s'est abaissée exceptionnellement jusqu'à 0,321 ; si l'on rapproche ce volume des 5,5 qui sont développés par le mouvement du piston à chaque tour, on voit que la proportion du volume total qui représente celui du gaz dépensé est représentée par 0,420 : 5,5 = 0,076 et 0,321 : 5.5 = 0,058.

Les diverses expériences ont été faites dans l'ordre suivant :

17 *mars*. — La machine fonctionne avec le robinet d'admission ouvert en plein : le frein est chargé de manière à obtenir le travail d'un cheval-vapeur ; l'eau de circulation est réglée de manière qu'elle sorte à la température de l'eau bouillante, c'est-à-dire au minimum de ce qui est nécessaire. La soudure de plombier placée sur la bride qui est à la naissance du tuyau d'échappement est fondue en quelques instants. La machine marche avec régularité, à la condition d'un graissage très-fréquent du cylindre ; elle ne s'arrête qu'une seule fois, et au moment de la remettre en marche une explosion assez forte se produit à l'extrémité du tuyau d'échappement.

18 *mars*. — L'inflammation ne se fait régulièrement que dans une des chambres du cylindre ; on change l'un des inflammateurs, dont les fils de platine ont été écrasés par le choc du piston.

19 *mars*. — L'orifice d'admission est à demi fermé par un robinet ; la marche est beaucoup moins régulière, malgré l'enlèvement d'une partie du poids de frein : on réduit successivement ce poids à 1,75 et à 3 kilogrammes.

Dans la soirée du même jour, on fait marcher la machine avec et sans gazomètre, pour observer l'effet produit sur la flamme des becs des amphithéâtres voisins.

20 *mars*. — On marche dans les mêmes conditions que le premier jour, mais en exagérant la quantité d'eau de circulation, dont la température ne s'élève plus que de 50°. Bonne marche, quoiqu'un peu irrégulière. On démonte ensuite la machine pour en visiter et en nettoyer toutes les parties ; nous indiquerons en leur temps les observations auxquelles a donné lieu cet examen.

22 *mars*. — Expérience prolongée, dans les mêmes conditions que le 17 mars, mais avec un peu plus d'eau de circulation, de manière à n'élever l'eau chaude qu'à 90°. La machine s'arrête trois fois sous l'action du frein. Une explosion se produit à l'échappement à la reprise.

Dans ces deux dernières expériences, on prend note de toutes les données nécessaires pour apprécier les dépenses relatives à l'entretien de la pile et au graissage.

Avant d'examiner en elles-mêmes les différentes indications qui résultent de ces expériences, nous réunirons dans un tableau d'ensemble les données principales, en prenant soin d'isoler celles du 19, alors que l'admission du gaz était volontairement troublée :

Tableau des expériences faites sur la machine Lenoir.

EXPÉRIENCES.	Le 17 mars.	Le 20 mars.	Le 22 mars.	Le 19 mars.	Le 16 mars.
Durée de l'expérience (en heures et fractions décimales de l'heure). .	5,00	3,95	4,80	1,20	1,00
Nombre total des tours de la machine	28350	24165	30975	»	»
Tours par minute	94,50	101,96	107.55	129,93	131,90
Poids au frein.	4,50	4,20	4,20	1,75	3,00
Travail par tour	42.42	39.58	39,58	»	»
Travail par seconde.	67.81	67,24	74,28	»	»
Travail en chevaux	0,90	0,896	0,99	0,48	0,83
Consommation du gaz en litres . . .	12056	10000	13000	3000	3000
Volume de gaz par tour, en litres.	0,402	0,414	0,420	0,321	0,379
Volume de gaz par force de cheval et par heure	2698,8	2825,5	2708	5252	3619
Volume total d'admission par minute, en litres.	520	561	592	715	725
Volume total d'admission pendant l'expérience.	31200	33660	31520	42900	43500
Proportion du gaz d'éclairage en volume	0,077	0,075	0,085	0,056	0,058
Température des gaz brûlés à la sortie du tuyau d'échappement. .	150°	154°	»		
Volume de l'eau de circulation en litres	554	1164	684		
Température de l'eau à l'entrée . .	10	10	10		
Température de l'eau à la sortie. .	92	60	90		
Chaleur recueillie par l'eau de circulation pendant l'expérience . .	45328	58200	54720		
Chaleur dégagée par la combustion (par le calcul)	72336	60000	78000		
Proportion de la chaleur perdue par l'eau de circulation.	0,626	0,970	0,690		

Nous examinerons maintenant chacun des éléments de ce tableau, avec les indications qu'ils comportent.

1. *Consommation par force de cheval et par heure.*

Les expériences principales, pendant lesquelles le travail par tour a peu varié, ont conduit aux consommations de gaz suivantes :

	lit.
27 mars.	2698,8
20 mars.	2825,5
22 mars.	2708,0
Moyenne. . . .	2744,1

Il nous paraît que ce chiffre doit être compté pour la consommation normale de la machine, car cette consommation est dans une proportion notablement plus grande lorsqu'on introduit une moindre proportion de gaz d'éclairage, et les dimensions des orifices de gaz ne permettraient pas de l'introduire en plus grande quantité.

Nous avons cependant passé sous silence les diverses expériences dans lesquelles l'inflammation n'était pas franchement accusée à chaque coup de piston, et nous devons, d'après cela, croire que, pour les machines de cette dimension au moins, on obtiendrait toujours un résultat à peu près identique.

2. *Limites entre lesquelles la machine peut être employée.*

Les observations qui précèdent reçoivent une nouvelle confirmation de cette circonstance, que le travail par tour diminue rapidement, lorsque l'admission du gaz d'éclairage est diminuée. Il en résulte que la puissance de la machine ne peut être utilement modifiée qu'en modifiant sa vitesse et en diminuant la résistance qui lui est opposée.

Notre machine, de 24 centimètres de diamètre, ne peut servir convenablement que pour une puissance très-

peu différente d'un cheval, bien que le volume du cylindre soit beaucoup plus grand que celui d'une machine à vapeur de cette force.

3. *Développement du travail dans le cylindre.*

Nous avons pu cette fois disposer notre indicateur de manière à avoir, dans nos diagrammes, une ligne de base presque aussi longue que la course même du piston.

Cette course du piston, mesurée sur les plaques conductrices sur lesquelles passe l'étincelle se décompose ainsi qu'il suit :

	m.
Avant le contact.	0,067
Après le contact.	0,053
Total.	0,120

L'espace libre compris entre les deux plaques de contact est de 14 millimètres; il présente, par rapport à l'épaisseur du piston, qui est de 30 millimètres, une différence de 16 millimètres.

L'examen des diagrammes fait voir que la pression ne se développe, dans le cylindre, qu'à une distance moyenne de 80 millimètres, à partir du commencement de chaque course, et qu'ainsi le moment de l'inflammation paraît différer notablement de celui qu'indiquent les conditions matérielles de l'exécution.

Les différences observées démontrent que l'emploi de l'indicateur est peut-être plus utile encore pour l'étude des machines à gaz, que pour celle des machines à vapeur, puisque dès les premiers essais il nous a fait voir certaines irrégularités qu'il est bon de faire connaître.

Dans la machine sur laquelle nous avons expérimenté, l'inflammation est plus retardée dans la chambre la plus rapprochée de l'arbre de la machine, quelquefois du temps nécessaire pour que le piston parcoure 30 millimètres.

Il y a, entre les inflammations successives dans une même chambre, des différences qui, pour la même vitesse de régime, diffèrent de 12 à 18 millimètres.

La vitesse de la machine a une grande influence sur le moment de l'inflammation. Dans la meilleure marche, celle de 80 tours environ, la distance mesurée sur les diagrammes entre les pieds des branches ascendantes des courbes variait de 22 à 27 millimètres; lorsqu'on desserrait le frein et que la machine marchait à 200 tours, cette distance atteignait 65 millimètres.

Des observations suivies faites par ce moyen pourraient donner quelques indications sur les retards que les différents obstacles opposent au passage de l'étincelle. Au point de vue mécanique, elles suffisent pour nous démontrer que l'on ne ferait pas marcher avec le même avantage les machines à gaz à toutes vitesses; nous pensons qu'une vitesse de 100 tours est déjà un peu exagérée, sous le rapport de la régularité de l'inflammation.

On observe, d'ailleurs, que l'ordonnée maxima est généralement plus grande lorsque l'inflammation se rapproche autant que possible du milieu de la course : elle est beaucoup plus petite lorsque cette inflammation est retardée, et que par conséquent la chaleur dégagée par la combustion est obligée de se reporter sur un volume de gaz plus considérable.

La plus grande ordonnée que nous ayons observée est de 48 millimètres, ce qui correspond, d'après la tare du ressort de l'indicateur, à une pression absolue de $48 : 11 + 1 = 5{,}36$ atmosphères.

Un grand nombre de diagrammes accusent une pression très-peu différente de ce maximum; mais dans l'autre chambre du cylindre, nous n'avons généralement observé qu'une ordonnée de 36 à 40 millimètres dans les mêmes conditions.

Cette irrégularité dans les tracés nous oblige à appeler l'attention des industriels sur la nécessité de maintenir en bon état tous les contacts, et elle donne l'explication des différences de vitesse très-considérables dans la machine, malgré la permanence absolue de la résistance qu'on lui oppose.

La *fig.* 9, Pl. IX, offre une réduction exacte de l'un de nos meilleurs diagrammes. Nous y avons, pour les deux courbes, ajouté en CD et C'D' le tracé qui correspondrait à la loi de Mariotte (1), et qui serait à peu près celui que l'on obtiendrait dans une machine à vapeur. L'examen comparatif de ces courbes fait voir que la pression baisse beaucoup plus rapidement dans la machine à gaz, et c'est sans doute ce fait qui a engagé les constructeurs à leur donner, en général, une très-faible course, par rapport à leur diamètre. Dès lors le point de la course auquel l'inflammation peut se faire doit être déterminé avec une très-grande précision, pour que l'effet utile soit favorable.

4. *Examen des gaz de la combustion.*

Quelques détails sont peut-être nécessaires pour que l'on puisse apprécier exactement les conditions dans

(1) Nous aurions pu comparer la courbe du diagramme avec la courbe logarithmique à laquelle conduit la loi de Laplace; mais il nous a paru plus convenable de le faire par rapport à l'hyperbole équilatère qui représente la loi de Mariotte, parce que c'est celle que l'on a l'habitude de considérer dans l'étude des effets de la détente de la vapeur.

lesquelles se produit la combustion dans les machines à gaz.

D'après les analyses de M. Payen, le mètre cube de gaz d'éclairage est moyennement composé de la manière suivante :

Hydrogène protocarboné	0,59
Hydrogène bicarboné	0,09
Oxyde de carbone	0,07
Hydrogène	0,21
Azote	0,04
Total	1,00

L'hydrogène protocarboné exige, pour être complétement brûlé, deux volumes d'oxygène, l'hydrogène bicarboné trois volumes, l'hydrogène et l'oxyde de carbone un demi-volume seulement, et tous calculs faits 1,60 mètre cube, correspondant à 7,510 mètres cubes d'air atmosphérique.

On voit donc qu'en admettant les deux gaz dans la proportion de 1,60 à 7,510, ou de 0,13 à 1,00, on pourrait à la rigueur obtenir la combustion de tous les éléments du gaz employé.

La proportion de 0,077 ne représente que 0,077 : 0,13 = 0,6 de ce chiffre; la proportion du gaz d'éclairage pourrait donc être augmentée dans une certaine mesure, et la chaleur dégagée par la combustion se trouvant alors repartie sur un moindre volume de produits gazeux, la température, et par conséquent la pression due à l'explosion seraient plus considérables; mais alors aussi l'échauffement du cylindre serait plus grand et les difficultés de la marche pourraient être exagérées par cette cause.

Au reste, nous avons eu soin, dans nos expériences, d'ouvrir en plein le robinet communiquant avec le compteur, et nous avons, par conséquent, admis le plus

grand volume de gaz que comportaient les conditions actuelles de la machine.

Les conditions qui précèdent doivent influer d'une manière notable sur la combustion : lorsque l'une des étincelles manque absolument, le gaz combustible est perdu sans s'enflammer, et nous avons vu que dans certaines circonstances il détonait en pure perte à l'extrémité de la conduite.

Mais ces accidents sont rares, et dans l'examen qui a été fait des gaz brûlés, nous avons eu soin de n'opérer que sur ceux qui avaient été recueillis pendant la meilleure marche de la machine.

M. Boussingault a bien voulu se charger de l'analyse de ces gaz; elle a été faite sous sa direction par M. Brustlein.

Nous entrerons dans quelques détails sur les éléments de cette analyse, dont les résultats nous paraissent d'un assez grand intérêt.

Les produits de l'échappement ont été amenés dans un petit ballon au moyen d'un long tube qui plongeait de $1^{m},20$ dans le tuyau d'émission. On a fait passer dans ce tube environ 25 litres de gaz d'échappement, afin d'être bien assuré que l'air avait été complétement expulsé, et le produit contenu dans le ballon a été analysé de la manière suivante :

Ce gaz humide avait un volume de 20,3 centimètres cubes, à la température de 13°,3, et sous une pression de 759,9 millimètres de mercure — 46,7. En réduisant ce volume à 0 et à la pression de 760 millimètres de mercure, on trouve qu'il équivaut dans ces conditions à 17,98 centimètres cubes.

Pour déterminer la proportion d'oxygène, le gaz a été soumis pendant vingt-quatre heures à l'action du phosphore; le volume a été réduit sous cette action

à 19,52 centimètres cubes à la température de 13°, et sous la pression de 755,2 millimètres — 36,3. Réduction à 0 et à 760 millimètres, 17,46 centimètres cubes : La différence 0,52 donne le volume de l'oxygène.

L'absorption de l'acide carbonique a ensuite été faite par la potasse, qui en même temps a desséché le gaz; volume de gaz sec, 17,85 centimètres cubes à la température de 15°,25, et sous la pression de 750,2—31,5. Réduction à 0 et à 760 millimètres, 15,99 centimètres cubes. La différence 1,47 donne le volume de l'acide carbonique.

L'oxyde de carbone a été absorbé par le protochlorure de cuivre; volume de gaz sec après l'absorption 18,05 à la température de 14°,3, et à la pression de 749,1— 40,0. Ce volume réduit à 0 et à 76 étant de 16 centimètres cubes, on doit conclure de cette détermination que le gaz soumis à l'analyse ne contenait pas d'oxyde de carbone.

Le résidu a été introduit dans un eudiomètre; mesuré de nouveau après ce transvasement, son volume a été de 18 centimètres cubes, à 13°,4 et à la pression 758,4—44,7. Volume à 0 et à 760, 15,95 centimètres cubes; on n'a pas tenu compte de la petite différence 0,05 qu'il faut attribuer à la perte faite dans cette opération.

Après introduction d'une certaine quantité d'oxygène dans l'eudiomètre, on a trouvé que le volume de gaz humide s'élevait à 29,4 centimètres cubes, à la température de 13°,5 et à la pression 758,4—40. Le volume calculé étant dans ces conditions 26,05, on voit qu'il a été introduit 10,10 centimètres cubes d'oxygène.

Après la détonation, la réduction de volume a été telle que le gaz occupait 28,4 centimètres à 13°, et à la pression 762,3 — 45,8; soit à 0° et à 760 25,16 cen-

timètres cubes. La réduction de volume est donc de 0,89 centimères cubes et il faut maintenant établir quelle est la composition des gaz ainsi brûlés.

Après l'absorption par la potasse, le volume du gaz humide restant est de 27,75 centimètres cubes à la température de 13°,1, et à la pression 763,4—36,0, soit de 24°,95 après toutes réductions effectuées. La différence 0,21 centimètres cubes représente de l'acide carbonique, qui ne peut provenir que d'une certaine quantité d'hydrogène protocarboné.

Ce volume d'acide carbonique correspond à un volume égal d'hydrogène protocarboné, qui a consommé pour sa combustion deux fois son volume d'oxygène, soit 0,42 centimètres cubes.

Les 0,89 centimètres cubes qui représentent la réduction du volume lors de l'inflammation sont donc formés pour 0,42 centimètres cubes d'oxygène, et les 0,47 restant correspondent aux produits de la combustion d'une certaine quantité d'hydrogène dont le volume est donné par la relation $0,47 \times \frac{2}{3} = 0,31$ centimètres cubes.

L'azote se trouve maintenant connu par différence, et la composition du gaz soumis à l'analyse peut être établie comme il suit, tant par rapport au volume primitif de 17,98, qu'en centièmes.

Oxygène	0,52	2,89
Acide carbonique	1,47	8,18
Hydrogène protocarboné	0.21	1,17
Hydrogène	0,31	1,72
Azote	15,47	86,04
Totaux	17,98	100,00

On peut tout d'abord conclure de ces chiffres que la combustion se fait bien dans le cylindre de la machine, puisque trois centièmes seulement en volume sont res-

quadruple de l'estimation que l'on porte sur celle des machines à vapeur à haute pression. Il ne serait cependant pas absolument juste d'en conclure que les machines à gaz consomment plus d'eau que les machines à vapeur, à égalité de force motrice développée. La même eau peut servir d'une manière continue, à la condition qu'elle sera puisée dans un réservoir assez grand pour que le refroidissement de ce réservoir ait le temps de s'opérer dans des limites suffisantes. Des dispositions fort ingénieuses sont adoptées dans ce cas pour profiter de la moindre densité du liquide chaud, pour la faire retourner au sommet du réservoir d'où elle s'écoule ; mais on ne saurait estimer à moins de 10 hectolitres la capacité qui conviendrait à un échauffement par heure de 120 litres à 90°, et le placement de ce réservoir ne laisse pas que d'être un inconvénient dans la plupart des circonstances qui semblent le mieux appropriées à l'emploi du nouveau moteur.

Cet inconvénient ne sera vraiment évité que dans les cas où l'on pourra disposer d'un filet d'eau continu provenant d'une canalisation publique, et c'est précisément dans ces circonstances que les incrustations seront le plus à craindre dans les enveloppes.

Il faut d'ailleurs ajouter que si l'on voulait faire sous ce rapport une comparaison avec les machines ordinaires à condensation, la consommation ne s'élèverait pas à moins de 400 litres par force de cheval et par heure, et que c'est seulement dans ces conditions que les machines à vapeur sont réellement économiques.

7. *Utilisation de la chaleur développée.*

Nous avons pu au § 5 évaluer la chaleur totale dégagée par la combustion du gaz.

Il est encore plus facile de déterminer celle qui est

employée à chauffer l'eau de circulation, puisque nous connaissons le volume d'eau sur lequel on opère et l'élévation de la température de cette eau. Dans l'expérience du 20 mars, les 0,97 de la chaleur développée par la combustion se retrouvent dans l'eau de circulation; mais ce chiffre est sans doute exagéré et nous aimons mieux prendre pour base de notre estimation la moyenne entre les résultats des deux autres expériences, ce qui réduirait la perte par l'eau de circulation à 0,66 seulement de la chaleur dégagée par la combustion. Toujours est-il que dans le fonctionnement de la machine qui nous occupe on perd au moins de ce chef les deux tiers de la chaleur produite.

La perte par les gaz brûlés est d'une appréciation plus difficile; si nous pouvons déterminer leur poids avec quelque exactitude, il n'en est pas de même à l'égard de leur température et de leur capacité pour la chaleur.

Lorsque le gaz d'éclairage brûle complétement et que, comme dans le cas actuel, on peut admettre qu'il n'y a aucune condensation de vapeur d'eau, l'élévation de la pression maxima peut donner une estimation approchée de la température au moment de l'inflammation. Pour une pression de 6 atmosphères, et en négligeant les petites variations de volumes qui résultent du nouvel état de combinaison, on pourrait admettre (1) que la température unitale serait obtenue en

(1) En fait, il faudrait, en admettant notre composition moyenne, 1 mètre cube de gaz d'éclairage, et $1^{m3},60$ d'oxygène pour former à même température $2^{m3},45$ de gaz après la combustion. Cette condensation qui résulte du nouvel état de combustion est donc de 0,15 par chaque mètre cubes de gaz d'éclairage, et dans le cas actuel de $0,15 \times 0,0077 = 0,001155$, environ 1 millième du volume total d'admission. On voit donc qu'il n'est pas nécessaire de tenir compte de cette réduction de volume dans les calculs.

donnant au module de dilatation $1 + at$ une valeur égale à 6, ce qui conduirait à $t = 5 : 0,00367 = 1362°$; mais cette température, si elle est atteinte, ne se développe, ainsi que le montrent les diagrammes de la pression, que successivement et elle est rapidement amoindrie par le refroidissement auquel on soumet constamment les parois métalliques des cylindres. La plus grande partie de la chaleur se trouve, ainsi que nous venons de le voir, enlevée par l'eau de circulation, une autre par l'expansion même des gaz, pendant que la détente se produit, et nous ne devons plus compter que sur une température de 250° à la sortie du cylindre. En admettant dans un premier calcul que le mètre cube des gaz mélangés avant la combustion pesait 1 kilogramme, que leur température fût de 250° à la sortie du cylindre, que leur capacité pour la chaleur fût peu différente de 0,25, on pourrait calculer pour les deux expériences des 19 et 22 mars la chaleur perdue à l'échappement de la manière suivante :

Poids des gaz employés pendant l'expérience :

	kil.
17 mars.	31,200
22 mars.	31,520
Moyenne. . . .	31,360

Chaque kilogramme aura exigé pour atteindre 250° une quantité de calories exprimée par $250° \times 0,25 = 62,50$, et les $31^k,360$ auront exigé une dépense totale de $62,50 \times 31^k,360 = 1960$ calories qui ne représenteraient pas plus de 0,026 de la chaleur totale dégagée ou trois centièmes environ.

Nous retrouvons donc dans les produits :

0,66 de la chaleur dégagée dans l'eau de circulation,
0,026 dans les gaz à l'échappement,

Le surplus est perdu en radiation et pour partie seulement converti en travail.

Si l'on appliquait le coefficient de Joule à cette production du travail de 1 cheval environ pendant une moyenne de $4^h,90$, c'est-à-dire à une production totale de $75 \times 3.600 \times 4,90 = 1.323.000$ kilogrammètres, on trouverait un nombre de calories égal à $1.323.000 : 425 = 3.113$.

Ces 3.113 calories ne représentent que $3.113 : 75.166 = 0,04$ de la chaleur totale, en telle sorte que la totalité de la chaleur semblerait être répartie de la manière suivante :

Chaleur retrouvée dans l'eau et les gaz. . .	0,69
Chaleur correspondant au travail	0,04
Pertes qui ne peuvent être estimées . . .	0,37
Total.	1,00

La seule conséquence, d'ailleurs, que l'on puisse tirer de ce calcul consisterait en ce que la machine à gaz n'utiliserait, non plus que la machine à vapeur, que les quatre centièmes de la chaleur développée par la combustion.

8. *Comparaison avec les machines à vapeur sans condensation.*

Si nous admettons qu'une machine à vapeur consomme 3 kilogrammes de houille par force de cheval, la chaleur dégagée sera, d'après les nombres admis, $3 \times 8.000 = 24.000$ calories.

Une machine à gaz consommant 2750 litres de gaz, à raison de 6.000 calories par mètre cube, n'exigerait que

$$2,750 \times 6.000 = 14500.$$

Sur ces bases, le combustible serait mieux utilisé dans la machine à gaz; il le serait aussi bien que dans

tés à l'état d'hydrogène libre, ou à l'état d'hydrogène carboné. Il était nécessaire qu'il en fût ainsi pour tirer tout le parti possible du gaz employé, et à cet égard nos expériences paraissent avoir été faites dans de très-bonnes conditions. Mais cette observation n'est pas la seule que l'on puisse déduire de l'analyse de M. Brustlein, et il était utile de rechercher si cette composition du gaz brûlé correspond avec quelque exactitude à celle que l'on pourrait calculer, d'après les proportions relatives de l'air et du gaz d'éclairage qui ont été simultanément introduites dans le cylindre de la machine.

A cet égard, nous avons été conduits à admettre pour composition moyenne du mélange explosif en volumes :

Gaz d'éclairage.	0,077
Air atmosphérique.	0,923
Total.	1,000

En admettant que le gaz d'éclairage eût ici sa composition moyenne, les chiffres précédents reviendraient à ceux-ci :

0,077 de gaz d'éclairage formé de :		
Hydrogène protocarboné..	$0,077 \times 0,59$	0,045
Hydrogène bicarboné . . .	$0,077 \times 0,09$	0,007
Oxyde de carbone.	$0,077 \times 0,07$	0,005
Hydrogène.	$0,077 \times 0,12$	0,016
Azote	$0,077 \times 0,04$	0,003
5.923 d'air atmosphérique formé de :		
Oxygène.	$0,923 \times 0,213$	0,197
Azote..	$0,923 \times 0,787$	0,726
Total		0,999

L'hydrogène protocarboné exige deux fois son volume d'oxygène, l'hydrogène bicarboné trois fois son volume, l'oxyde de carbone et l'hydrogène un demi-volume seulement; de sorte que l'on peut tout à la fois former le tableau suivant des éléments de la combustion et des

produits qui en doivent résulter, en tenant compte des modifications en volumes qui en résultent.

	PROPORTIONS en volumes.	OXYGÈNE employé dans la combustion.	ACIDE carbonique formé.
Hydrogène protocarboné.	0,045	0,090	0,045
Hydrogène bicarboné. . .	0,007	0,021	0,014
Oxyde de carbone.	0,005	0,0025	0,005
Hydrogène	0,016	0,008	
Oxygène.	0,197		
Azote.	0,726		
Totaux.	0,999	0,122	0,064

En ne tenant aucun compte de la quantité d'eau produite, on voit qu'en définitive les gaz brûlés devraient être formés de 0,064 d'acide carbonique; 0,197 — 0,122 = 0,075 d'oxygène et 0,726 d'azote, pour un volume total de 0,865.

En appliquant ces éléments à un volume représenté par 100, nous pouvons maintenant mettre en regard la composition déduite de l'analyse, et celle déduite du calcul ainsi qu'il suit :

	Composition réelle en volume.	Composition calculée en volume.
Oxygène.	2,89	8,67
Acide carbonique.	8,18	7,40
Hydrogène protocarboné. .	1,17	»
Hydrogène	1,72	»
Azote.	86,04	85,93
	100,00	100,00

Ce rapprochement nous semble très-remarquable en ce que les chiffres à comparer sont presque identiques pour ce qui concerne l'azote et l'acide carbonique. Seulement une proportion plus grande d'oxygène a disparu, ce que l'on pourrait expliquer en supposant qu'une certaine quantité d'huile s'est brûlée, ou que quelque partie de métal se sera oxydée à la température évidemment trop grande à laquelle la machine est exposée.

Toujours est-il que la combustion de tous les produits combustibles a été aussi parfaite qu'on peut l'espérer dans des expériences de cette nature.

5. *Chaleur dégagée par la combustion.*

La chaleur dégagée par la combustion d'un mètre cube de gaz peut être calculée d'après les dernières déterminations qui ont été faites des pouvoirs calorifiques des différents gaz, par MM. Favre et Silbermann; mais il faut dans ce calcul les faire intervenir chacun pour son poids comme il suit :

Hydrogène protocarboné.	0,59	× 0,727	=	0,429
Hydrogène bicarboné . .	0,09	× 0,275	=	0,025
Oxyde de carbone	0,07	× 1,265	=	0,088
Hydrogène	0,21	× 0,090	=	0,019
Azote.	0,04	× 1,256	=	0,050
Poids du mètre cube.				0,611

Les chiffres de MM. Favre et Silbermann ont été obtenus en liquéfiant dans leur calorimètre tous les produits condensables; il n'en est pas ainsi lors de la combustion des gaz dans la machine, et c'est pour cette raison que nous avons dû corriger leurs chiffres de toute la chaleur latente nécessaire à la formation de la vapeur d'eau. En opérant de cette manière, on trouve pour les éléments du pouvoir calorifique du mètre cube de gaz d'éclairage les nombres suivants :

0,429 hydrogène protocarboné. .	× 11.798	=	5.061,24
0,025 hydrogène bicarboné. . . .	× 11.081	=	277,02
0,088 oxyde de carbone.	× 2.402	=	211,38
0,019 hydrogène	× 29.003	=	551,06
0,050 azote	× 000	=	0,00
Pouvoir calorifique de 1^{mc} de gaz d'éclairage. .			6 100,70

soit environ 6.000 calories. C'est là le chiffre que nous emploierons dans toutes nos évaluations ultérieures.

Un mètre cube de gaz d'éclairage fournirait environ les trois quarts de la chaleur que peut dégager la combustion d'un kilogramme de houille ordinaire.

La température des gaz produits par la combustion est sans doute très-grande; mais si l'on réfléchit que chaque coup de piston ne fait entrer dans le cylindre qu'un volume de gaz d'éclairage égal à 0,402 litre ou à 0,000402 mètre cube, on voit que la chaleur dégagée par coup de piston s'élève seulement à $6.000 \times 0{,}000402 = 24$ calories; on ne sera pas étonné que la température de ces gaz s'abaisse instantanément au contact des parois en métal.

Quant à la température absolue au moment de l'inflammation, on pourrait la calculer approximativement en tenant compte de tous les produits de la combustion, c'est-à-dire de l'eau, de l'acide carbonique, de l'oxygène et de l'azote qui représentent les éléments mis en présence au moment de l'inflammation. Nous en donnerons un peu plus loin une valeur approchée.

6. *Dépense d'eau.*

A moins de transformer une grande partie de l'eau de circulation en vapeur, il résulte de nos expériences qu'il ne faut pas dépenser par force de cheval et par heure moins de 120 litres d'eau, et encore les gaz de la combustion sortent-ils du cylindre à une température supérieure à celle de la fusion de la soudure des plombiers; on ne peut estimer cette température au-dessous de 220°, et les gaz produits conservent encore plus de 150° à l'extrémité d'une conduite d'échappement de 3 mètres.

Cette dépense d'eau, qui paraît être accessoire dans le fonctionnement des machines à gaz, est cependant

12. *Influence sur les becs allumés dans le voisinage.*

On nous avait prévenu que des plaintes nombreuses s'élevaient de la part des consommateurs de gaz qui avaient à subir le voisinage des machines Lenoir.

Pour bien apprécier cette influence, nous avons fait fonctionner les machines après l'allumage de tous les becs des deux amphithéâtres du Conservatoire.

Lorsque notre petit gazomètre était interposé, les flammes vacillaient si peu qu'il eût été nécessaire d'être prévenu pour en faire l'observation; cependant cette faible influence se faisait sentir jusqu'à 30 et 40 mètres à l'amont. En établissant directement la prise du gaz sur la conduite, les becs voisins de 10 mètres se sont éteints; tous ceux du grand amphithéâtre étaient soumis à des variations si grandes qu'il eût été impossible de les tolérer à une distance moindre que 40 mètres; dans l'autre amphithéâtre, c'est-à-dire à plus de 100 mètres de distance, l'influence de la machine était encore très-marquée.

Ces observations prouvent que l'on ne pourrait établir directement une machine à gaz sur la conduite, sans l'interposition d'un gazomètre ou tout au moins d'un réservoir régulateur; mais elles démontrent aussi que l'on écartera facilement tout inconvénient de cette nature au moyen d'un réservoir intermédiaire, auquel il suffira certainement de donner une capacité de 300 litres pour une machine de 1 cheval.

On a vu par ce qui précède les soins que nous avons pris pour nous rendre un compte exact de toutes les particularités du fonctionnement de cette machine, et l'on nous permettra sans doute de résumer nos appréciations et de dire en toute sincérité ce que nous pensons

du nouveau moteur, dont aujourd'hui tout le monde s'occupe et qui a été accueilli avec une juste faveur.

M. Lenoir, en effet, a réalisé le premier l'application pratique des machines à gaz dont l'histoire antérieure, depuis Lebon (1) qui s'en est occupé le premier, ne consiste qu'en une suite d'essais, restés pour la plupart, et jusque dans ces derniers temps, sans aucune sanction industrielle.

M. Marinoni, de son côté, a, comme constructeur, parfaitement groupé les différents organes, et il a apporté dans l'exécution tout le talent d'un constructeur expérimenté.

Grâce à ce double concours, la petite industrie a maintenant à sa disposition un moteur d'un transport facile, pouvant s'installer partout et consommant moins de 3 mètres cubes par force de cheval et par heure.

Ce cheval ne coûtera pas plus de 1 franc par heure et il représentera pour l'industriel la force motrice de douze hommes au moins. Le service rendu est donc

(1) Lebon, dans son certificat d'addition du 25 août 1801, décrit la machine à gaz en termes très-précis : « Dans le cylindre *a* s'opère la combustion du gaz inflammable, qui est introduit au moyen du tuyau *b*, tandis que l'air atmosphérique nécessaire pour la combustion y est refoulé par le tuyau *c*... La boîte *g* contient quatre soupapes ; leur jeu, déterminé par un régulateur subordonné au mouvement du piston *d*, introduit la vapeur... » On voit que cette machine différait cependant de la machine actuelle en ce que la combustion ne s'opérait pas dans le cylindre moteur, mais dans une capacité spéciale, et en ce que l'air était refoulé et non pas aspiré dans cette capacité.

« J'ai supposé l'inflammation du gaz une fois commencée ; on sait que par l'étincelle électrique on peut la déterminer, même dans des vaisseaux fermés ; On pourrait disposer une machine électrique qui serait mue par celle à gaz de manière à répéter les détonations dans des instants dont l'intermittence pourrait être réglée et déterminée. » Ce passage méritait, au point de vue historique, d'être reproduit.

considérable partout où la comparaison peut s'établir entre le prix de revient du travail du tourneur de roue et celui de la machine.

Ces cas sont nombreux dans l'industrie, et la machine à gaz se propagera avec grande utilité pour tous, dans ces conditions particulières. Les avantages qu'elle présente dans ces conditions sont assez grands pour que l'industriel puisse confier la conduite de sa machine à un ouvrier soigneux ; il n'aura pas à reculer devant l'établissement d'un réservoir d'eau pour le refroidissement de son cylindre, ni devant celui d'un réservoir de gaz qui l'assurera contre toutes les réclamations du voisinage. La force motrice à 1 franc par cheval et par heure lui assure, d'ailleurs, cet avantage, d'être obtenue ou arrêtée à volonté, et la dépense est absolument réduite au seul temps pendant lequel il en use.

Cette part, qui nous paraît être le domaine exclusif de la machine à gaz, est assez belle, nous le pensons, pour qu'il ne soit pas nécessaire de l'exagérer. Si la comparaison avec l'emploi de la force musculaire de l'homme est de tout point avantageuse, il n'en est plus de même pour les cas où la comparaison doit être faite avec la machine à vapeur. Autant que nous puissions le conclure des faits qui se sont produits devant nous, la dépense est alors sextuplée et nous attendrons de nouveaux faits avant de croire à la possibilité d'employer économiquement la machine à gaz pour remplacer la vapeur.

L'emploi de la machine à gaz ne doit donc être recommandé encore que dans les cas où il n'est pas possible d'établir une machine à vapeur. Ainsi envisagée, elle constitue pour nous l'une des plus utiles conquêtes de la mécanique moderne.

La machine qui a servi à nos dernières expériences est représentée Pl. IX, *fig.* 1 à 6.

La *fig.* 1 est une coupe longitudinale faite par l'axe de la machine.

La *fig.* 2 est une coupe transversale montrant les dispositions des enveloppes réservées pour la circulation de l'eau autour du cylindre.

La *fig.* 3 représente le système des conducteurs qui servent à assurer l'inflammation.

La *fig.* 4 donne une coupe des inflammateurs qui portent les étincelles jusque dans l'intérieur du cylindre.

La *fig.* 5 reproduit dans ses principaux détails le tiroir d'admission.

A (*fig.* 1), arbre moteur portant deux poulies servant de volants A′ et A″, l'un d'un diamètre de $0^{m},975$, l'autre de $0^{m},745$.

Le mouvement du piston est transmis à cet arbre, comme dans les machines à vapeur dites horizontales, au moyen d'une manivelle *a* et d'une bielle à fourche *a′*.

B, cylindre fermé à ses deux extrémités par deux couvercles creux *b*, *b′*, et enfermé dans une double enveloppe B′.

C'est dans les couvercles de ce cylindre que passent les inflammateurs K et K′.

C, piston fixé par un écrou à la tige *c*, articulée avec la bielle à fourche; cette tige passe dans un *stuffing-box c′*, et elle est guidée à son autre extrémité par un support *c″*.

La garniture du piston est formée par trois cercles concentriques formant ressort contre le piston, et superposés.

D (*fig*, 2, 4, 5), tiroir d'admission, dont le mouvement est commandé par un excentrique *d*, calé à la ma-

une machine à vapeur à condensation, qui consommerait 14.500 calories par force de cheval ou 1,8 kilogrammes de houille seulement; c'est-à-dire presque aussi bien que dans la meilleure machine à vapeur.

Au point de vue économique il en est tout autrement, car une machine qui ne consomme que 3 kilog. dépensera seulement $3^{k} \times 0,04 = 0^{f}.12$ en estimant le kilogramme de houille à 4 centimes, tandis que la machine à gaz dépensera $2,750 \times 0,30 = 0^{f}.825$, à raison de $0^{f}.30$ par mètre cube de gaz d'éclairage. La dépense sera 6 fois aussi grande. Et ce qu'il y a de très-intéressant dans ce parallèle, c'est que dans l'un et l'autre on aura comme résidu de chaleur dans l'eau chaude perdue :

$400 \times 40 = 16.000$ calories pour la machine à vapeur que nous supposerons à condensation.

$120 \times 80 = 16.000$ calories pour la machine à gaz dans l'eau de condensation.

L'infériorité de la machine à gaz dans la pratique résulte uniquement du prix relativement plus élevé du combustible; mais nous verrons d'ailleurs qu'elle offre certains avantages particuliers qui la recommandent à la petite industrie.

9. *Dépense d'huile.*

La haute température qui se développe dans le cylindre oblige à un graissage d'autant plus fréquent que les matières grasses sont très-rapidement carbonisées, et qu'elles se déposent sous forme de croûtes charbonneuses sur toutes les parties de la machine.

Le 17 mars nous avons dépensé 160 gr. d'huile en 5 h.
Le 22 mars — 215 gr. — en 4.80.
soit au total 365 gr. d'huile en 10 heures de travail.

Cette dépense inévitable peut s'évaluer à 1 franc par

jour, soit 0,10 par chaque heure de travail effectif : la machine se ralentit après 15 minutes de marche si l'on n'a pas soin de graisser abondamment.

10. *Dépense de la pile.*

Afin de ne rien négliger dans nos évaluations de la dépense, nous avons voulu nous rendre compte de celle de la pile, qui se composait de deux éléments de Bunsen, dont les charbons avaient $0^m,25$ de hauteur et étaient immergés jusqu'à $0^m,18$.

Nous nous sommes d'ailleurs assuré qu'un seul de ces éléments ne suffisait pas pour enflammer le gaz dans le cylindre.

Dans l'expérience du 20 mars la pile a fonctionné pendant $4^h,75$. Elle avait été chargée avec $3^k,349$ d'eau acidulée avec l'acide sulfurique et marquant 16° à l'aréomètre, et avec 0,630 d'acide azotique à 38°. Ces dissolutions marquaient respectivement 19 et 35° à la fin de l'expérience, et le poids des zincs, nouvellement amalgamés, avait diminué de 19 grammes. Dans l'expérience du 22, pour 5 heures, les chiffres sont à peu près identiques : eau acidulée à 15°, $3^k,414$, marquant 17° à la fin; acide azotique à 38°, $0^k,667$, réduit à 35° à la fin de l'expérience; poids du zinc dissous 19 grammes.

Mais il importait de contrôler ces résultats des pesées par une analyse exacte des liquides qui avaient servi dans la pile.

Le liquide, chargé de sulfate de zinc, avait un volume total de 2.895 litres; l'analyse qu'en a faite M. Saint-Edme a porté seulement sur 30 centimètres cubes, où elle a décelé la présence de 0.272 grammes de zinc métallique ; ce dosage correspondrait à une teneur totale en zinc de $\frac{2,895 \times 0,272}{0,003} = 26,248$ grammes. Nous

pensons que cette évaluation est plus exacte que celle qui résulte de la pesée directe des éléments encore humides, immédiatement après leur sortie de la dissolution. Du reste cette consommation pourrait être plus considérable si le zinc était mal amalgamé, et nous l'évaluerons pratiquement à 30 grammes pour 5 heures ou à 6 grammes de zinc par heure. M. Becquerel a bien voulu faire d'après ces indications l'évaluation de la dépense en argent.

D'après les réactions de la pile, chaque équivalent de zinc doit consommer, pour passer à l'état de sulfate de zinc, un équivalent d'acide sulfurique, et en même temps un équivalent d'acide azotique doit être décomposé, en telle sorte que la dépense totale a lieu dans les proportions suivantes :

Zinc, Zn.	32,75
Acide sulfurique, $SO^3 + HO$. . .	49,00
Acide azotique, $AzO^5 + 4HO$. . .	99,00

En rapportant ces dépenses à notre consommation de 6 grammes de zinc nous trouvons :

0,006 kil. zinc	à 0,80 le kil. . . .	0,0048
0,008 kil. acide sulfurique	à 0,18 le kil. . . .	0,0015
0,016 kil. acide azotique	à 0,56 le kil. . . .	0,0090
Total.		0,0155

Soit environ un centime et demi pour les deux couples et par heure.

En réalité la dépense est plus considérable en ce que les acides ne peuvent pas servir jusqu'à complet épuisement, et pour tenir compte de cette circonstance, M. Becquerel l'estime au double de celle qui vient d'être calculée, soit à 3 centimes par heure. C'est en doublant de la même façon le chiffre théorique que l'on évalue habituellement la dépense des piles employées dans l'industrie, dépense qui est amoindrie de

beaucoup, dans le cas actuel, par suite des intermittences de l'action.

En résumé, les deux éléments employés pour le service de la machine sur laquelle nous avons expérimenté ne coûteraient que trente centimes pour un travail de dix heures. Cette dépense est réellement très-faible.

11. *Nettoyage et entretien de la machine.*

Nous avons dit qu'avant la dernière expérience du 22 mars nous avions visité toutes les parties de la machine, qui avoisinent le cylindre.

A l'intérieur un cambouis solide s'était formé sur toutes les parties non frottantes : quelques-unes des lumières des tiroirs étaient obstruées; cependant les ressorts du piston continuaient à fonctionner et la surface sur laquelle ils glissaient n'était nullement altérée. Un nettoyage fréquent permettait seul de maintenir sous ce rapport la machine en bon état.

Les divers conduits servant à la circulation de l'eau étaient déjà recouverts d'incrustations, à ce point que l'eau ne passait qu'avec peine autour du tiroir d'échappement ; des regards sont, il est vrai, disposés pour le nettoyage, mais nous les regardons comme insuffisants, et il conviendra certainement de les multiplier.

La conduite de la machine ne doit être confiée qu'à un chauffeur attentif : il faut qu'il sache démonter avec soin les différentes parties de l'appareil, et ce serait s'exposer à des chômages fréquents que de les confier à un manœuvre inintelligent. L'entretien de la pile et des communications doit également faire l'objet d'une surveillance de tous les jours.

nière ordinaire sur l'arbre A des volants. Ce tiroir correspond à deux séries d' d'orifices d'admission, qui desservent respectivement les deux chambres du cylindre; le gaz arrive par les tubes d, l'air pénètre par l'intervalle libre laissé entre les deux faces du tiroir, et qui communique avec les orifices d' ménagés entre les petits tubes d.

D′ (*fig.* 2), tiroir d'échappement dont les orifices sont simplement rectangulaires.

E (*fig.* 1 et 2), réservoirs en fonte dans lesquels le gaz est amené, pendant le fonctionnement de la machine, par le tube inférieur e, muni d'un robinet. Chacun de ces réservoirs ou bouteilles est percé du côté du tiroir d'un orifice rectangulaire, qui correspond à un orifice semblable du cylindre et qui n'en est séparé que par l'épaisseur du tiroir. L'admission a lieu toutes les fois que les orifices de ce tiroir s'interposent entre celui du cylindre et celui de la bouteille.

E′ (*fig.* 1 et 2), bouteilles semblables pour l'échappement des gaz après l'inflammation; les gaz qui s'échappent de ces bouteilles se réunissent par une tubulure e' dans le tuyau d'échappement de la machine.

F, tuyau par lequel arrive l'eau de circulation; cette eau monte dans la bouteille E′, passe dans un tuyau de communication f, qui réunit les deux bouteilles d'échappement, descend par la seconde de ces bouteilles, et entre dans le cylindre par le tuyau coudé F′ qui prend naissance au bas de cette bouteille.

G, tuyau par lequel s'écoule l'eau de circulation qui a parcouru la double enveloppe du cylindre.

H (*fig.* 3), fils de communication entre la pile et la bobine d'induction.

I, bobine d'induction, en communication d'une part avec le cylindre, d'autre part avec le conducteur isolé i, fixé sur un siége en buis.

J, J' (*fig.* 3), conducteurs en cuivre également isolés, et communiquant respectivement, au moyen de fils recouverts de gutta-percha avec les inflammateurs K, K'.

L (*fig.* 3), galet isolant, portant la tige de cuivre ou languette *l* qui doit établir la communication entre le conducteur général et les conducteurs J, J', particuliers à chacune des chambres du cylindre. Aussitôt que le contact est établi, par la tige *l*, entre le conducteur *i* et le conducteur J, l'étincelle passe dans la chambre postérieure du cylindre, et l'inflammation se produit.

K (*fig.* 6), boulon que l'on visse sur le cylindre et qui sert d'inflammateur. Dans l'axe de ce boulon est fixé un cylindre isolant en porcelaine, dans lequel sont insérés deux fils de platine, l'un communiquant avec le conducteur J, l'autre communiquant avec le boulon lui-même, de manière que l'étincelle puisse toujours se produire entre eux aussitôt que les communications sont établies par la languette *l*.

Le poids total de la machine, avec ses deux volants et le bâti sur lequel elle est disposée, est d'environ 700 kil.

NOTE

SUR UN APPAREIL DESTINÉ AU JAUGEAGE DES SOURCES MINÉRALES.

Par M. JUTIER, ingénieur des mines.

Le jaugeage des sources minérales est une opération délicate qui demande à être exécutée avec des soins particuliers si l'on veut obtenir des résultats exacts et dignes de confiance : les procédés à employer doivent varier suivant le volume de la source et les conditions de l'emplacement où on peut l'observer : mais il se présente très-fréquemment un cas assez embarrassant. Bien souvent les eaux minérales coulent à ras du sol : c'est ce qui arrive notamment lorsqu'on poursuit les eaux minérales par voie de fouille ou de galerie, ou parfois encore lorsqu'on examine le canal de décharge des bains en temps de morte-saison et qu'on veut contrôler par un jaugeage de l'ensemble des sources les jaugeages partiels que l'on a déjà exécutés :

On peut songer alors à établir un barrage dans lequel serait pratiqué un orifice à une certaine hauteur au dessus du sol et à recueillir dans un vase l'eau minérale au sortir de cet orifice : mais en agissant ainsi, en créant une retenue d'eau en arrière du barrage, on s'expose à avoir des pertes par infiltration dans les terrains avoisinants, à noyer les travaux s'il s'agit d'une galerie peu inclinée, à diminuer le débit des sources en établissant une charge sur leur point d'émergence : si la source mise en expérience a un débit

un peu considérable, et seulement de 100 à 200 litres par minute, ce procédé devient tout à fait impraticable en raison de la hauteur qu'il faudrait donner au barrage pour recueillir les eaux dans un vase de dimension convenable.

Il faut donc pouvoir mesurer les eaux au moyen d'un appareil d'une installation facile qui occasionne très-peu de remou et qui laisse en quelque sorte aux eaux leur écoulement naturel : le déversoir se prête très-bien à ces conditions ; mais on sait combien il est difficile de prendre très-exactement la hauteur de la lame d'eau, surtout quand on opère au fond d'un regard ou dans une galerie étroite. Il faut d'ailleurs que les parois soient bien dressées et qu'on opère dans des conditions tout à fait régulières pour obtenir des résultats satisfaisants.

C'est pour répondre à ces vues que nous avons fait construire le petit appareil que nous allons décrire et dont nous nous sommes servi à Plombières avec succès.

Une plaque en tôle rectangulaire de $0^m,006$ d'épaisseur EFGH (Pl. VII, *fig.* 8) porte en son milieu une échancrure ABCD de $0^m,100$ de large sur $0^m,150$ de hauteur par laquelle s'opère le déversement. Les bords intérieurs AC et BD sont taillés en biseau : deux plaques de rechange n° 1 et n° 2 (*fig.* 6 et 7) peuvent être glissées dans cette ouverture de façon à réduire la largeur de l'ouverture à $0^m,400$ et à $0^m,010$: on peut ainsi proportionner la section du déversoir au débit de la source et on diminue l'erreur probable en augmentant la hauteur de charge sur le seuil.

Deux feuilles de tôle semblables K'K', L'L' (*fig.* 9) sont disposées perpendiculairement à la feuille principale et sont reliées par les cornières en fonte qui supportent les vis de pointage.

Les deux vis à filets carrés P*p*, Q*q* sont placées dans les deux angles extérieurs formés par les feuilles de tôle. Leur pas a été calculé de façon que chaque tour de vis produise exactement un déplacement vertical de $0^m,005$: elles sont terminées à la partie inférieure par une pointe fine *pq* : des arrêts sont disposés à la base et au sommet de façon que lorsque les vis sont complétement abaissées les pointes se trouvent précisément dans le plan horizontal du seuil CD et que lorsqu'elles sont entièrement levées ces pointes se trouvent au niveau de la ligne EF.

Lorsqu'on veut faire une expérience on forme un lit d'argile ou de ciment au sol de la galerie : on y assujettit l'appareil, on s'assure avec un niveau d'eau que le plan formé par les arêtes supérieures est bien horizontal et on laisse les eaux pendant quelques instants prendre un écoulement régulier : on abaisse alors l'une des vis en comptant le nombre des tours et en observant le moment où la pointe va toucher le plan d'eau, ce qui peut se faire avec une grande précision : on manœuvre de même l'autre vis et si l'on trouve exactement le même nombre de tours on est certain que le régime est bien régulier et que l'appareil est parfaitement disposé.

On peut facilement apprécier une fraction moindre qu'un quart de tour de la vis et mesurer la hauteur de charge d'eau à moins d'un millimètre près.

Les ailettes L'K' placées entre les vis et le déversoir s'opposent à ce que le remou influe sur le niveau de l'eau au point où l'on mesure la hauteur de l'eau et l'indication fournie par les vis correspond au plan normal de l'eau qui détermine le déversement : il ne reste qu'à appliquer la formule habituelle :

$$Q = mLH\sqrt{2gH}$$

pour connaître le débit de la source.

Du reste il est facile de tarer l'instrument à l'avance et de dresser par voie d'expérience directe des courbes qui donnent immédiatement, sans calcul et avec la plus grande précision, le débit correspondant à chaque largeur d'orifice pour une charge d'eau déterminée.

DESCRIPTION

D'UN

APPAREIL SERVANT A LA RECHERCHE DE PLUSIEURS ACIDES.

Par M. PISANI.

Ce petit appareil est d'un usage assez commode lorsqu'on fait des essais en petit et par conséquent il convient particulièrement pour les recherches au chalumeau dans lesquelles il importe d'opérer vite et avec simplicité.

Il se compose (Pl. VIII, *fig.* 4) d'un tube de verre A de 6 à 8 centimètres de long auquel s'adapte avec un bouchon le tube à boule B qui se trouve légèrement effilé à la partie C. Pour la recherche de l'acide oxalique seulement on joint à la partie C, au moyen d'un tube de caoutchouc, l'appendice D contenant de la potasse en morceaux placée entre deux tampons de coton. Un petit entonnoir F sert à introduire les réactifs qu'on emploie dans la boule D.

Voici maintenant quels sont les acides que l'on peut reconnaître au moyen de cet appareil :

Carbonates

Quand il s'agit de carbonates, on met dans la boule quelques gouttes d'eau de chaux et dans le tube la matière mélangée avec du bisulfate de potasse. On chauffe et l'eau de chaux est troublée. Si l'on veut reconnaître un bicarbonate ou un sesquicarbonate alcalin on chauffe alors la matière seule. Il est même facile de distinguer ainsi certains carbonates les uns des autres : ainsi, le carbonate de magnésie dégage très-facilement de l'acide carbonique à une lampe à gaz or-

dinaire, tandis que les carbonates de baryte, de strontiane, de chaux et la dolomie n'en dégagent point. Ce n'est que lorsqu'ils sont chauffés très-fortement et pendant longtemps que ces deux derniers en donnent un peu. Le fer spathique et les autres carbonates métalliques donnant très-facilement de l'acide carbonique, on voit de suite l'usage qu'on peut faire en minéralogie de cet appareil pour les mélanges dont les éléments ne sont pas discernables.

Oxalates. On sait que les oxalates chauffés avec de l'acide sulfurique donnent de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique. Dans mon appareil je chauffe la matière avec du bisulfate de potasse, après avoir mis l'eau de chaux dans la boule et avoir adapté à la partie C l'appendice à potasse D; l'eau de chaux est alors troublée et l'on enflamme l'oxyde de carbone à l'extrémité effilée de l'appendice. Ce dernier est nécessaire pour retenir les dernières portions d'acide carbonique qui se trouve mêlé à l'oxyde de carbone.

Azotates. La matière est chauffée avec du bisulfate de potasse et l'on verse dans la boule quelques gouttes de sulfate ferreux qui brunit rapidement sous l'influence des vapeurs nitreuses.

Cyanure. Pour reconnaître le cyanogène on met dans la boule une dissolution de potasse et dans le tube le mélange de matière et de bisulfate : on chauffe et il se forme ainsi du cyanure de potassium. On verse le contenu de la boule dans un verre de montre contenant du sulfate ferroso-ferrique acidulé d'acide chlorhydrique et l'on obtient du bleu de Prusse.

Chlorures. On chauffe avec de l'acide sulfurique concentré le mélange de matière et de bichromate de potasse : il se condense dans la boule de l'acide chlorochromique qui versé dans de l'ammoniaque donne une solution jaune

de chromate d'ammoniaque. Cette réaction est applicable à la plupart des chlorures solubles.

Mélange de chlorures et bromures. On opère comme précédemment pour un mélange de chlorures et de bromures et l'on constate ainsi la présence du chlore; le brome se reconnaît à part.

Bromures. On chauffe les bromures avec du bisulfate de potasse; il se dégage du brôme qui se condense dans la partie courbe du tube à boule ou dans la boule même. S'il y a en même temps très-peu d'iode, comme dans le bromure de potassium du commerce, on aperçoit dans le tube sa vapeur violette. Presque tous les bromures solubles donnent cette réaction du brome, avec le bisulfate de potasse comme pour les bromures.

Iodures. L'iode se reconnaît d'ailleurs facilement à la couleur de sa vapeur.

BULLETIN.

PREMIER SEMESTRE 1861.

Séparation de la machine et du tender dans les machines Engerth du Semmering.

On lira avec intérêt la lettre ci-jointe de M. Desgranges, directeur du matériel et de la traction des chemins de fer du sud de l'Autriche, sur la transformation des machines Engerth du Semmering. Nous joignons à cette lettre une note que le même ingénieur veut bien nous communiquer, et dans laquelle il a exposé les motifs qui justifient cette transformation :

« ..... Nous avons transformé les machines Engerth du Sem-
» mering en machines à quatre essieux couplés avec tender
» indépendant.

» Ce travail a été commencé au mois d'avril 1860 (1), et la
» première machine transformée a été livrée au service au
» mois de septembre suivant.

» Trois autres sont en main et seront prochainement mises
» en circulation.

» La modification de ces machines nous a amenés à modifier
» le bâti de façon à répartir uniformément la charge sur les
» quatre essieux. Le poids substitué à celui des caisses à eau
» supprimées est d'environ 3.000 kilogrammes.

» Les machines ainsi transformées donnent de bons résultats,
» *et nous sommes bien décidés à appliquer cette transforma-*
» *tion aux vingt-six machines à marchandises qui font le*
» *service du Semmering.* »

(*Extrait d'une lettre de M. Desgranges, en date du 25 juillet* 1861.)

(1) Il a donc suivi de quelques mois seulement les premiers essais de découplement faits sur le chemin de fer de l'Est et rapportés dans les *Annales des mines* (tome XVI, 1859, p. 141).

Note à l'appui de la transformation; par M. DESGRANGES.

« La modification des anciennes machines nous entraîne à entrer dans quelques détails pour expliquer et justifier ce que nous avons fait au sujet des machines du Semmering.

» Nous possédons sur le Semmering, pour les trains de marchandises, vingt-six machines construites d'après le système Engerth, avec roues motrices de 3 pieds 4 pouces 1/2 de diamètre.

» Dans l'origine, ces machines avaient été construites pour accoupler ensemble les cinq essieux, de sorte que le poids de la machine et du tender était utilisé pour l'adhérence.

» Ce poids était de 56.000 kilogrammes en marche, et correspondait à un poids brut de train de deux cents tonnes par un beau temps.

» On sait que l'accouplement des essieux de la machine était transmis au premier essieu du tender au moyen d'engrenages, et que le deuxième essieu du tender recevait son mouvement du premier par deux bielles.

» On sait aussi que ce système dut être abandonné après quelque temps. De nouvelles épreuves furent encore tentées en 1858, mais on y renonça également.

» Les engrenages construits d'abord en fer, puis en acier, ne purent résister, et se brisèrent après un faible parcours. La consommation du combustible, par rapport à la charge, ne présentait aucun avantage sensible, et quant à la dépense de graissage, elle était huit fois celle des autres machines à marchandises sans engrenage.

» Les ruptures se produisaient principalement à la descente. Lorsqu'on serrait les freins du tender, tout effort pour caler les trois essieux de la machine était transmis par les engrenages qui ne pouvaient résister.

» Les ingénieurs de l'État se décidèrent donc à supprimer les engrenages, en sorte que la machine fut réduite à trois essieux couplés ayant un poids adhérent de 39.250 kilogrammes.

» C'est ainsi que ces machines ont fonctionné à partir de 1855, et c'est ainsi que nous les avons trouvées en 1859, lorsque le chemin du sud de l'Autriche passa sous l'administration de la Compagnie.

» Il ne fallut pas longtemps pour reconnaître que des machines établies dans de telles conditions étaient des plus onéreuses pour l'exploitation.

» De l'examen des dépenses de ces machines pendant l'année 1858, il ressort que les frais d'entretien par kilomètre ont été de 1fr,58, alors que la moyenne de toutes les autres machines était de 0fr,36. Cette dépense extraordinaire provient de la grande difficulté que présente la réparation la plus simple à faire à la machine ou au tender, dont la séparation est difficile. Il faut dire aussi que l'entretien de la chaudière est fort coûteux.

» Il faut, de plus, faire observer que le poids adhérent de 39.250 kilogrammes est obtenu au moyen de l'installation dans les côtés de la machine de deux caisses à eau d'environ 6.000 kilogrammes, et que du moment où cette eau est épuisée ou réduite dans une certaine proportion, il en est de même des forces de la machine dont l'adhérence se trouve ainsi réduite avant que la prochaine station d'eau ne soit atteinte.

» Enfin, et malgré tous ces inconvénients, la machine à marchandises dont il s'agit ne pouvant remorquer sur le Semmering qu'une charge brute de cent trente tonnes environ, alors que celle des trains ordinaires qui arrivent au pied du Semmering à Gloggnitz et Murzzuschlag est de trois cents à trois cent vingt-cinq tonnes, il y a donc toujours lieu de détripler chacun de ces derniers trains pour franchir la montagne. Sans entrer dans le détail de la dépense qui en résulte, on conçoit combien les frais de toute nature doivent être considérables sur cette partie du chemin du Sud.

» Frappé de tous ces inconvénients, que ne pouvait compenser le seul avantage de l'articulation de l'arrière-train supportant la boîte à feu et le tender, nous nous sommes décidés à modifier complétement la machine Engerth en la transformant en une machine à quatre essieux moteurs parallèles, avec tender séparé.

» Bien que la distance des axes extrêmes fût ainsi de 3m,438, nous n'y vîmes pas un inconvénient sérieux, à cause de la faible vitesse des trains du Semmering.

» Du reste, le dernier essieu, celui de derrière, fut rendu mobile par un jeu latéral de 0m,02, de façon à faciliter autant que possible le passage des courbes.

» De plus, un système d'attelage spécial prenant le point

de traction du tender à l'avant de la boîte à feu, laisse à la machine toute la liberté de manœuvrer dans les courbes.

» Les machines du Semmering étaient toutes dans le plus mauvais état et exigeaient de très-importantes réparations. Il fallait remplacer la plupart des boîtes à feu et des tubes, et même une partie des tôles des chaudières. Plusieurs cylindres devaient également être remplacés.

» Les frais de réparation pour chaque machine ne s'élevaient pas à moins de 15 à 16.000 florins. C'est à ce dernier chiffre que s'est élevée la réparation de chacune des deux machines nos 610 et 614, mises en état par les ateliers de Vienne, en 1859, sous l'administration de l'État, tout en conservant exactement le même système des trois essieux couplés et du tender combiné et insuffisant.

» Évidemment une telle dépense était mal employée, puisqu'en résumé on avait, après comme avant la réparation, une machine offrant les inconvénients et l'impuissance signalés plus haut.

» Voyons maintenant quelle est la dépense résultant de la réparation et de la transformation de la nouvelle machine.

» La première machine (Eichberg), confiée aux ateliers de Neustadt, a donné lieu à une dépense totale de 16.791 florins, y compris le tender.

» La dépense de la seconde (Kirchberg), réparée et modifiée par les mêmes ateliers, ne s'est élevée qu'à 14.826 florins, et il y a lieu d'espérer que nous obtiendrons encore quelques réductions pour les machines suivantes.

» On voit donc que jusqu'à présent la dépense pour la modification des machines du Semmering reste encore au-dessous du prix de la réparation proprement dite des mêmes machines, telle qu'elle a été effectuée dans les ateliers de Vienne aux deux premières machines.

» Nos machines ainsi modifiées ressortiront sur notre inventaire aux prix suivants :

	fl.
1° Estimation des machines sur l'inventaire au moment de la reprise.	12.000
2° Prix moyen de la réparation et de la modification.	14.000
Total.	26.000

soit 65.000 francs.

» Les machines ainsi modifiées ont été soumises à l'examen

des ingénieurs de l'État qui, après des voyages d'essai faits à 6 milles 1/2 à l'heure, les ont trouvées propres au service du Semmering. Le rapport se termine ainsi :

« Le mouvement des deux machines pendant le trajet était « tellement sûr et doux, que rien n'empêche leur mise en ser- « vice public sur toutes les lignes du chemin de fer du sud « d'Autriche. »

» Les inconvénients que nous avons signalés ont été supprimés, et les nombreuses expériences que nous avons faites après un service presque continu de quatre à cinq mois ont démontré que la charge brute que l'on peut remorquer sur le Semmering, dans la direction la plus difficile, de Gloggnitz à Mürzzuschlag, et par un beau temps, est de 5.500 quintaux au lieu de 2.600 qui est la charge maximum des machines non modifiées.

» La marche de la machine dans les courbes du plus petit rayon (189 mètres) a lieu sans difficulté.

» La machine dégagée des caisses à eau et avec le tender séparé est beaucoup plus facile à visiter et à séparer, et il y a tout lieu de penser que les frais d'entretien de 1f,58 par kilomètre seront considérablement réduits.

» La suite nous apprendra si la voie aura plus à souffrir du service de la nouvelle machine que de celui des premières; mais si l'on tient compte de la réduction du poids de la machine et de la meilleure répartition sur les quatre essieux, il paraît hors de doute que l'avantage ne soit du côté de la machine modifiée.

» Faisons observer que la moyenne du nombre de rails remplacés sur le Semmering, pendant les six dernières années, a été comme suit :

1855	2,6 p. 100
1856	5,2
1857	6,5
1858	7,1
1859	16,4
1860	27,8
En six ans.	65,6

» Voici la comparaison de la répartition de la charge sur les essieux :

	1er essieu avant.	2e essieu.	3e essieu.	4e essieu.	TOTAL du poids adhérent.
Ancienne machine en marche.	13.700	12.500	13.058	»	39.230
Machine modifiée.	10.750	10.850	11.100	11.000	43.700

» On voit combien la charge sur les essieux de l'ancienne machine est excessive et défavorable pour la voie, puisqu'elle s'élève à près de quatorze tonnes pour l'essieu d'avant, et combien sous ce rapport la modification apportée est avantageuse.

» Enfin on voit que le poids adhérent de la première machine, dont la charge par essieu est de près de quatorze tonnes, se réduit à 33.000 kilogrammes seulement, tandis que dans la machine modifiée l'adhérence totale ne descend pas au-dessous de 43.700 kilogrammes répartie uniformément sur les quatre essieux.

» Ces explications suffisent pour démontrer clairement et pour justifier la modification que nous apportons aux vingt-six machines du Semmering.

» Avant de nous défaire des engrenages auxquels l'administration de l'État avait renoncé et qui étaient mis au rebut, nous avons voulu nous rendre compte de leur effet.

» Une machine a donc été munie des trois roues qui transmettent le mouvement du troisième essieu de la machine au premier essieu du tender.

» Des expériences sont actuellement en cours d'exécution ; mais en supposant qu'il y ait avantage sous le rapport du combustible, il ne saurait, en aucune manière, justifier le maintien du système actuel de ces machines.

» Les deux raisons principales sont :

» Entretien déjà énorme des machines, et qui serait encore augmenté par l'application des engrenages ;

» Charge excessive sur les essieux, et par suite prompte destruction de la voie et chance d'accidents les plus graves.

» Nous devons mentionner ici que tout récemment une de ces machines a eu un essieu cassé, et qu'une autre a déraillé en pleine marche sans qu'on ait pu en reconnaître la cause.

» DESGRANGES. »

Ainsi disparaissent ces machines, même sur leur sol natal, sur le chemin pour lequel elles ont été construites.

Au Semmering comme au chemin de l'Est, le défaut d'adhérence a conduit à l'accouplement des quatre essieux, et cet accouplement lui-même a conduit à sa conséquence logique, inévitable, la séparation du tender.

Certes, la transformation aurait pu être parfaitement justifiée pour les machines qui circulent dans les courbes à grand rayon de l'Est, sans être fondée, sans être possible même pour celles qui franchissent les nombreuses courbes de 189 mètres du Semmering. Mais si elle est motivée dans le second cas, combien plus encore elle l'est dans le premier !

« Tant qu'il ne réussit pas à utiliser pour l'adhérence la totalité du poids, le système Engerth n'a de raison d'être que » pour les machines à marche rapide ; appliqué aux machines » à petite vitesse, le principe est en défaut, il n'a que des inconvénients sans compensation. » Il y a longtemps que cette appréciation a été formulée pour la première fois ; on voit à quel point ce qui se passe au Semmering la confirme aujourd'hui.

Il est remarquable que des machines à huit roues couplées fassent un service régulier, et relativement facile et économique, dans des courbes de 189 mètres de rayon. Ce fait a une importance réelle au moment où on se demande en France si l'on peut descendre jusqu'à 200 mètres sans compromettre la traction, sans escompter des progrès douteux dans la construction des locomotives.

Toutefois, la machine à huit roues couplées du Semmering n'est sans doute pas, sous sa forme actuelle, la solution définitive. Son succès ne doit être regardé que comme relatif ; elle n'est bonne que par comparaison avec le service, si mauvais à tous égards, comme l'établit M. Desgranges, des machines Engerth. Aussi la compagnie ne néglige-t-elle point d'étudier les perfectionnements qui peuvent augmenter la flexibilité, sans réduire l'adhérence (1).

C. COUCHE.

(1) Elle fait construire dans les ateliers de Mulhouse deux machines de système Beugniot, mais notablement simplifiées dans les détails.

Sur la découverte de gisements aurifères dans la province de Valdivia (Chili).

Au milieu des préoccupations de la politique un fait important par les conséquences qu'il peut avoir pour l'avenir de ce pays est venu absorber l'attention générale. Il s'agissait de la découverte de riches gisements aurifères dans la province de Valdivia.

. . . . . .

On comprend que toutes les imaginations soient échauffées par la nouvelle. Il ne manque pas de personnes tant étrangères qu'indigènes qui font déjà des préparatifs pour se rendre dans l'Eldorado chilien ; mais pour bien apprécier la découverte, il faut attendre d'autres informations. Jusqu'ici tout se réduit à une simple promesse, et si je crois utile d'en faire mention, c'est à cause du changement considérable qui pourrait avoir lieu, si à ses mines de cuivre, au nord, cette contrée était appelée à joindre des mines d'or au sud. Il en résulterait certainement un accroissement d'émigration et de commerce, et le Chili deviendrait pour l'Europe un marché sans rival dans ces régions lointaines.

(*Extrait d'une dépêche adressé à M. le ministre des affaires étrangères par M.* Limpérani, *consul général de France au Chili.* — 2 février 1861.)

Deuxième note sur le même sujet.

Le dernier paquebot du Sud vient d'apporter de nouveaux renseignements sur les travaux entrepris par les chercheurs d'or dans la province de Valdivia. Ces informations sont loin, il faut l'avouer, de répondre aux espérances que les journaux ministériels eux-mêmes avaient fait concevoir. Mineurs et touristes attirés sur les lieux par le retentissement de la découverte paraissent peu satisfaits. Le plus certain, au milieu des bruits contradictoires mis en circulation, c'est qu'on trouve, en effet, de l'or à Valdivia, comme sur tout le littoral de la République ; mais que le minerai n'y est pas abondant et qu'on ne l'obtient qu'à la suite de grandes fatigues. A une époque assez éloignée de nous, les Espagnols ont tiré du Chili jusqu'à 3 ou 4.000 marcs d'or annuellement, parce que la main-d'œuvre leur coûtait fort peu, confiée qu'elle était aux Indiens ; si depuis l'indépendance cette quantité s'est abaissée au point de ne plus représenter que 7 ou 800 marcs, c'est que le prix de revient est trop élevé et qu'il y a plus d'avantage à se livrer à l'exploitation des mines de cuivre. Les sauvages de l'Araucanie payent souvent avec des parcelles d'or les articles qu'ils achètent sur les marchés chiliens, mais personne ne sait au juste dans quelle partie de leur territoire ils découvrent ce métal. Pour être fixé à ce sujet, il faudrait faire une expédition en règle dans une contrée presque inconnue et en s'exposant à des dangers sérieux.

. . . . . .

(*Extrait d'une nouvelle dépêche de M.* Limpérani, *en date du 2 mars* 1861).

Sur les gisements de cuivre nouvellement découverts au Canada.

Les découvertes minérales se multiplient sur la rive droite du Saint-Laurent, entre Richmond et Québec ; il devient chaque jour plus vraisemblable que les gisements d'Acton ne constituent point un phénomène isolé, mais appartiennent à une vaste formation cuprifère, dont les affleurements ont déjà été mis à nu sur un grand nombre de points, notamment à Saint-Flavien, dans le comté de Lotbinière, à Melbourne et dans le voisinage immédiat de Richmond. Les explorateurs sont les habitants mêmes du pays. Ce sont toutefois des étrangers qui profitent de leurs investigations quand elles amènent un heureux résultat. Des Américains ont acheté les mines d'Acton ; des Anglais sont en négociation pour l'acquisition de celles de Saint-Flavien. Dans les minerais, l'argent est mélangé au cuivre dans une proportion qui en rendrait l'extraction avantageuse. On parle d'installer à Longueil, vis-à-vis de Montréal, des ateliers métallurgiques où les produits d'Acton, de Richmond, etc., seraient traités sur une large échelle A ces établissements se rattacheraient les usines pour la fabrication de l'acide sulfu-

rique. La ville de Montréal, qui depuis quelques années tend à prendre de l'importance comme centre industriel, se verrait ainsi rapidement poussée dans cette direction. Sa prospérité, qui est attestée par les progrès constants de la population, ne pourrait que s'en accroître. Il ne serait pas non plus sans intérêt pour la France, dont le sol ne paraît contenir qu'une quantité presque insignifiante de cuivre, de trouver à s'approvisionner de ce métal sur les marchés du Canada. Ce serait un nouvel article d'échange entre les deux pays, et les relations commerciales qui doivent tôt ou tard se renouer de l'un à l'autre rencontreraient peut-être à leur début des difficultés moins sérieuses.

. . . . . .

(Dépêche adressée à M. le ministre des affaires étrangères par M. GAULDRÉE-BOILLEAU, *consul de France à Québec, le 15 janvier 1861.)*

Sur l'origine et le progrès du traitement des minerais de fer à l'anthracite, en Pensylvanie.

La Pensylvanie possède deux bassins houillers : celui de l'Ouest, le plus vaste, est formé de houille dite bitumineuse; sa superficie est de 15.000 milles quarrés anglais; le second, celui de l'Est, formé d'anthracite, est entièrement séparé du premier, et d'une superficie de 427 milles quarrés.

Minéralogiquement parlant, ces deux houilles présentent une différence peu sensible, tandis qu'au feu la différence est immense. L'anthracite est la plus riche en carbone, a la flamme courte et donne une chaleur plus vive que toute autre; le soufre, quoique existant dans le minéral, n'y est pas en aussi grande quantité que dans la houille bitumineuse.

Si l'on considère la courte période de temps depuis laquelle l'anthracite est en usage dans la Pensylvanie, pour réduire le minerai de fer ou pour la production de la vapeur, et que l'on étudie le développement que cette branche d'industrie a reçu dans les dix dernières années, on peut facilement préjuger le rôle important qu'elle prendra dans l'industrie et le commerce de ce pays.

Vingt ans à peine se sont écoulés depuis qu'on a songé sérieusement à se servir de cette masse noire et pierreuse, et déjà nous voyons une exploitation annuelle de 7 millions de tonnes qui, au coût de 3 dollars, valeur moyenne à la frontière de l'État, représente une somme de plus de 100 millions de francs.

Cette valeur annuelle est presque doublée par le fait que 1.800.000 tonnes de minerai de fer sont réduites par une partie de ce combustible en fonte et fer ductile. Ce minerai, vu la forte concurrence étrangère, ne pourrait être utilisé avec avantage s'il fallait se servir de la houille bitumineuse ou du charbon de bois.

Comme je l'ai déjà dit, la superficie du bassin anthraxifère de la Pensylvanie, qui est le seul dans l'Amérique du Nord, est de 427 milles quarrés anglais, ou quart de la surface totale des terrains houillers de la France.

Sa direction est du nord-est au sud-ouest et se présente sur une longueur de 150 milles et une largeur de 30 milles.

Les débouchés principaux sont au nombre de quatre :

1° Venant de la partie sud-est du bassin, le chemin de fer de Reading à Philadelphie qui a son débouché dans cette dernière ville, puis le Schuylkill Canal ayant aussi son débouché ici;

2° Venant de la partie est, le Lehigh Canal et le chemin de fer qui longe cette rivière; le débouché est à Caston, d'où il existe égale facilité de transport pour Philadelphie et New-York;

3° Venant de la partie nord du bassin, le Delaware et Hudson Canal et le chemin de fer du Delaware et la Kawana. La première de ces voies débouche dans la rivière Hudson, à 100 milles de New-York, et alimente tout le territoire de l'Hudson, et la seconde par un embranchement communique avec New-York;

4° Venant de la partie ouest et débouchant sur la Susquehanna, les chemins de fer de Pensylvanie Coal compagnie, de Shamokin-Valley et de Freverten-Lykins-Valley.

Leur produit pour cette année sera :

1° Schuylkill Canal.	1.400.000
2° Reading rail-road	2.000.000
3° Lehigh Canal	1.000.000
4° Lehigh rail-road.	700.000
5° Delaware et Hudson Canal..	1.300.000
6° Delaware et la Kawana rail-road. . . .	
7° Chemins de fer débouchant dans la Susquehanna.	1.100.000
Tonnes.	7.500.000

Des relevés faits par des géologues et des ingénieurs des mines distingués constatent que vingt siècles, avec une extraction décuple de celle de cette année, ne sauraient épuiser les différentes couches qui se trouvent superposées à une profondeur de 1.000 pieds anglais.

Fabrication du fer à l'anthracite. — Les premiers essais pour l'emploi de l'anthracite, afin de réduire le minerai de fer, furent faits en 1838 et 1839 par M. David-Thomas de Cournouaille. Ce fut avec un haut fourneau construit pour le charbon de bois à air froid, situé près de Pottsville (Pensylvanie).

L'État lui doit de la reconnaissance pour la persévérance qu'il déploya, malgré le peu de succès de ses premiers essais.

La combustion ne s'opérait pas sous la quantité d'air injectée par la machine soufflante; car cette masse compacte du nouveau combustible n'était pas pénétrée par la trop faible pression produite par une machine établie pour un haut fourneau au charbon de bois.

Une masse d'air plus grande et une pression plus forte furent les premiers pas faits pour obtenir les résultats brillants dont M. Thomas a de justes motifs d'être fier.

En 1840, M. Thomas fait ses seconds essais dans un nouvel ordre d'idées. C'est pour le « Cram Iron compagnie » sur le Lehigh qu'il construit son haut fourneau, lequel, au lieu de 30 pieds (anglais) de hauteur avec une largeur de 9 pieds, est porté à 47 pieds de hauteur et 11 pieds de largeur.

Le succès est constaté par ce fait que la même année cinq autres hauts fourneaux furent construits sur le même plan et pour utiliser le même combustible.

Au lieu de 2.000 pieds cubes d'air par minute sous une pression de 1 1/2 à 2 livres par pouce quarré, la machine soufflante

lui donnait 4.000 pieds cubes par minute sous une pression de 4 livres par pouce quarré.

Quoique le problème fût résolu, à savoir que l'on pouvait faire la fonte de fer avec l'anthracite, de nouvelles découvertes étaient encore nécessaires avant qu'on pût présenter avantageusement ces fontes sur les marchés de Philadelphie et de New-York en concurrence avec les fontes anglaises et écossaises; et grâce à ces découvertes dont je parlerai plus loin, la Pensylvanie a quatre-vingt-onze hauts fourneaux à anthracite, les États voisins de New-York, de New-Jersey et de Maryland en ont ensemble vingt-neuf, formant un total de cent vingt hauts fourneaux qui, à quelques exceptions près, sont en feu et produisent cette année 500.000 tonnes de fonte, dont la valeur sur le marché de Philadelphie ou de New-York est au minimum de 50 millions de francs.

Pour se rendre compte de la valeur réelle de cette source de richesse aux États-Unis, il suffit de comparer le prix actuel d'une tonne de fonte à l'anthracite, qui est de 20 dollars, avec la fonte au charbon de bois de l'est de la Pensylvanie qui ne peut être vendue à Philadelphie à moins de 26 dollars.

Les fontes anglaises peuvent être rendues sur les marchés de Philadelphie et New-York, droits d'entrée compris, à 22 dollars la tonne; mais si, en addition des débouchés actuels, ce pays avait à fournir annuellement aux États-Unis 500.000 tonnes, le prix serait bien plutôt 26 dollars que 22.

En dernier lieu, la partie ouest pourrait fournir ses fontes au coke; mais, par suite du transport et de l'infériorité de la qualité, ces fontes ne seraient pas préférables à la fonte au charbon de bois au prix indiqué; car les fontes à l'anthracite sont plus pures qu'aucune autre traitée au combustible minéral, et elles sont aujourd'hui utilisées dans des cas où l'on ne se servait autrefois que de la fonte au charbon de bois.

Les causes de la supériorité des fontes à l'anthracite sur les fontes au coke sont : 1° l'absence comparative du soufre dans l'anthracite; 2° la volatisation plus complète des substances étrangéres qui se trouvent dégagées par l'intensité de la chaleur obtenue sous la pression d'une immense masse d'air, pression calculée au triple de l'air injecté dans les hauts fourneaux au coke.

Comme je l'ai fait remarquer plus haut, la machine soufflante construite en 1840 pour le premier haut fourneau de la « Cram

Iron compagnie » lançait 4.000 pieds cubes d'air par minute sous une pression de 4 livres par pouce quarré. Cette puissance de machine est employée dans le grand nombre de hauts fourneaux construits de 1845 à 1855. Ces hauts fourneaux ont en général de 40 à 50 pieds de hauteur, et produisent en moyenne 5.000 tonnes de fonte par année.

Depuis cette époque, des machines plus puissantes sont employées avec grand succès. Elles fournissent 10.000 pieds cubes d'air par minute sous une pression de 8 à 9 livres par pouce quarré. Avec une de ces machines estimée à 250 chevaux de force, un haut fourneau de 60 pieds de haut produit 10.000 tonnes de fonte par année. Le combustible nécessaire pour cette production est de 12 à 15.000 tonnes, tandis qu'autrefois, pour réduire cette même quantité de métal, il fallait de 25 à 30.000 tonnes de charbon. La main-d'œuvre est également considérablement réduite.

L'expérience n'a encore indiqué la supériorité d'aucune espèce de machine soufflante. Elles sont toutes à cylindres à double effet, placées le plus souvent verticalement, quelquefois à mouvement direct, mais aujourd'hui préférablement à balancier. Il n'y a pas de machine directe oscillante.

Dans le mode d'injection de l'air dans les hauts fourneaux, on a fait de très-grands progrès dans ces dernières années. On a reconnu qu'en n'injectant l'air que par trois tuyères, la fusion s'opérait mal. L'augmentation du diamètre du fourneau a nécessité une augmentation dans le nombre des jets, et là où dans le temps on se servait de trois tuyères, on en a aujourd'hui douze à quinze distribuées sur la circonférence, de manière à égaliser la distribution de la masse d'air injecté. Le haut degré de chaleur a également conduit à entourer les tuyères d'un courant d'eau froide, afin de les rendre plus durables sous l'influence de cette chaleur.

Vers 1846, on a eu l'idée d'utiliser les gaz des hauts fourneaux pour la production de la vapeur, ainsi que pour le chauffage de l'air. Si cette belle invention a été avantageuse pour les hauts fourneaux au charbon de bois, elle est indispensable pour les hauts fourneaux à l'anthracite, par suite de la grande masse d'oxygène nécessaire pour enflammer le charqon en masse compacte, et du danger de refroidissement du haut fourneau, si cette masse d'air était injectée au degré de température de l'atmosphère.

La manière d'obtenir ces gaz, ainsi que les appareils pour les brûler, sont les mêmes que ceux dont on se sert en France. Le degré de chaleur que l'on donne ici à l'air injecté est de 600° Fahrenheit.

Le gueulard des hauts fourneaux à l'anthracite est couvert d'une plaque en fonte laissant une ouverture pour l'introduction du minerai et du combustible. Son objet est de former un réservoir annulaire où les gaz peuvent se réunir pour passer par les carneaux sous les générateurs et l'appareil à chauffer l'air pour les fourneaux. Cette ouverture dans la plaque en fonte a généralement 4 pieds de diamètre, tandis que le gueulard a 8 à 9 pieds de diamètre.

(*Extrait d'un mémoire adressé à M. le ministre des affaires étrangères par* M. DE LA FOSSE, *consul de France à Philadelphie.* — 1er mars 1861.)

Sur la découverte d'un gisement de houille au Monténégro.

Les eaux de la Rieka, en se retirant, ont mis à découvert une couche de charbon de terre. Le prince Nicolas ayant invité les consuls de Scutari à venir la voir, nous avons emmené avec nous un mécanicien anglais du vapeur, qui a trouvé ce charbon d'une qualité supérieure. Cette mine est située sur le bord d'une rivière portant bateau. La main-d'œuvre est peu coûteuse et les travailleurs sont nombreux au Monténégro. Il sera donc facile de l'exploiter si les couches inférieures sont en rapport avec les affleurements. Cette découverte serait une fortune pour les Monténégrins, car ce charbon trouverait un écoulement assuré pour la navigation dans l'Adriatique. Le consul d'Angleterre vient de se rendre à Cettigne, et je crois que l'exploitation future de cette mine de charbon n'est pas étrangère à ce voyage.

. . . . . .

(*Extrait d'une dépêche adressée à M. le ministre des affaires étrangères par M.* HOCQUARD, *consul de France à Scutari.* — 16 mars 1861.)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIX-NEUVIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages.

Extraits de minéralogie. Travaux de 1860; par M. *de Senarmont*, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines. 249

Analyses de diallage. 249
Analyse de smaragdite. 249
Sur un minéral ressemblant à l'amphibole 249
Analyse du feldspath vitreux du Drachenfels. 250
Analyse d'albite de Claveras-County 250
Analyse d'émeraudes 250
Analyse d'éléolithe verte 251
Analyse de boltonite. 251
Analyse d'orthite d'Arendal. . . . 251
Sur la brewstérite 251
Sur la pholérite 252
Analyses de cancrinite 252
Analyses de silicates d'alumine hydratés 252
Sur la röttisite 253
Sur la mélanhydrite 254
Sur la cyanolithe, la centrallasite et la cérinite. 254
Sur la franklinite. 255
Analyse de schéelite. 255
Sur le plomb yanadiaté 256
Sur l'uranophane. 256
Sur l'alisonite 257
Sur l'homichline 257
Sur la whitneyite. 257
Analyse du tellure plombo-aurifère de Nagyag. 258
Sur la forme cristalline de la gadolinite 258
Sur le dépôt successif des carbonates isomorphes dans les filons de fer carbonaté de Lobenstein. 259
Sur un nouveau gisement de martite. 259

CHIMIE.

Description d'un appareil servant à la recherche de plusieurs acides; par M. *Pisani* 477

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

État présent de la métallurgie du fer en Angleterre; par M. *Gruner*, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines, et M. *Lan*, ingénieur des mines, professeur à l'École des mineurs de Saint-Étienne (1re partie). . . . 151

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Pages.

Inventions et applications nouvelles se rattachant à l'art des mines; par M. *Dormoy*, ingénieur des mines (1re partie). 1

Suite. 239

Emploi de la chaleur et de la décrépitation pour le percement de certaines roches très-dures; par M. *Daubrée*, ingénieur en chef des mines, membre de l'Académie des sciences 23

Statistique minérale de l'empire d'Autriche (extrait par M. *Callon*, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines) 283

Rapport à S. Exc. le ministre des travaux publics sur les conditions réglementaires de l'application de la tôle d'acier fondu à la construction des chaudières à vapeur; par MM. *Combes*, inspecteur général, directeur de l'École des mines; *Lorieux*, inspecteur général des mines, et *Couche*, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines, *rapporteur*. 311

Procès-verbal des expériences faites au Conservatoire des arts et métiers, sur la résistance des tôles d'acier fondu pour chaudières; par M. *Tresca*, ingénieur, sous-directeur du Conservatoire 345

Recherches expérimentales sur l'écoulement des vapeurs; par M. *Minary*, ingénieur de l'atelier de construction de Casamène (Doubs), et M. *Résal*, ingénieur des mines. 379

Recherches expérimentales sur la chaleur de la fonte de fer en fusion et quelques autres corps métalliques; par MM. *Minary* et *Résal*. 401

Machine à air chaud d'Ericcson. — Procès-verbal des expériences faites au Conservatoire des arts et métiers par M. *Tresca*, ingénieur, sous-directeur du Conservatoire. 413

Machines à gaz de M. Lenoir. — Procès-verbal des expériences faites au Conservatoire des arts et métiers par M. *Tresca*, ingénieur, sous-directeur du Conservatoire. 433

Appareil pour le jaugeage des eaux minérales; par M. *Jutier*, ingénieur des mines 473

CONSTRUCTION. — CHEMINS DE FER.

Pages.

Rapport à S. Exc. le ministre des travaux publics sur les barrages construits dans la vallée de Barcelonnette; par M. *Gras*, ingénieur en chef des mines 367

Nouvelles recherches expérimentales sur le frottement de glissement sur les rails de chemins de fer; par M. *Bochet*, ingénieur des mines. 27

Note sur un frein de M. *Dietz*, par M. *Roger*, ingénieur des mines 121

Chemins de fer français. Situation au 31 décembre 1860; par le Bureau de la statistique des chemins de fer, au ministère des travaux publics. 261

OBJETS DIVERS.

Sur la chaleur de la fonte en fusion, par MM. *Minary* et *Résal*. 401

BULLETIN.

(1er semestre 1861.)

Séparation de la machine et du tender dans les machines Engerth du Semmering, par M. *Desgranges*, 481. — Sur la découverte de gisements aurifères dans la province de Valdivia (Chili), par M. *Limpérani*, 488. — Deuxième note sur le même sujet, *ib.* — Sur les gisements de cuivre nouvellement découverts au Canada, par M. *Gauldrée-Boilleau*, 489. — Sur l'origine et les progrès du traitement des minerais de fer à l'anthracite, en Pensylvanie, par M. *de la Fosse*, 490. — Sur la découverte d'un gisement de houille au Monténégro, par M. *Hocquard*, 495.

Table des matières du tome XVIII. 497

Explication des planches du tome XVIII. 501

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DIX-NEUVIÈME.

Pl. I.

Fig. 1 à 4. *Applications nouvelles concernant l'art des mines.* 1

Fig. 5 à 19. *Frein proposé par M. F. Dietz.* 121

Fig. 5 à 9. Élévation et plan.

Fig. 10, 11, 12, 13. Détails de la poulie.

Fig. 14. Position du levier *ab* et du ressort *r* :

1° Dans le wagon chargé (trait pointillé double);

2° Dans le wagon non chargé (trait simple).

Fig. 16. Rondelle d'arrêt.

Fig. 17. Développement de la lame en acier formant courroie.

Fig. 18. Coin d'arrêt fixant la poulie sur la roue.

Fig. 19. Rondelle des boulons fixant la poulie sur la roue.

Lettres communes aux *fig.* 8, 9, 10, 11 :

ab, *bc*, levier.

h, boîte renfermant le ressort.

f, lame d'acier.

d, guide de la lame.

s, support fixé sous la boîte à graisse et donnant l'isolement.

c, support fixé au précédent.

r, ressort.

g, tige de butée agissant à l'extrémité de levier *ab*, *bc*.

A, vis de serrage à trois filets,

B, rondelle d'arrêt.

p, poulie.

Pl. II, III, IV. *Expériences sur le frottement de glissement.* . . 27

(L'explication des figures se trouve sur les planches elles-mêmes.)

Pl. V. *Carte métallurgique et des chemins de fer de l'Angleterre.*

Pl. VI. *Résistance des tôles d'acier fondu pour chaudières à vapeur.*

Pl. VII.

Fig. 1 à 4. *Barrages construits dans la vallée de Barcelonnette.*

Fig. 5. *Frein Dietz (Frédéric.) Élévation.*

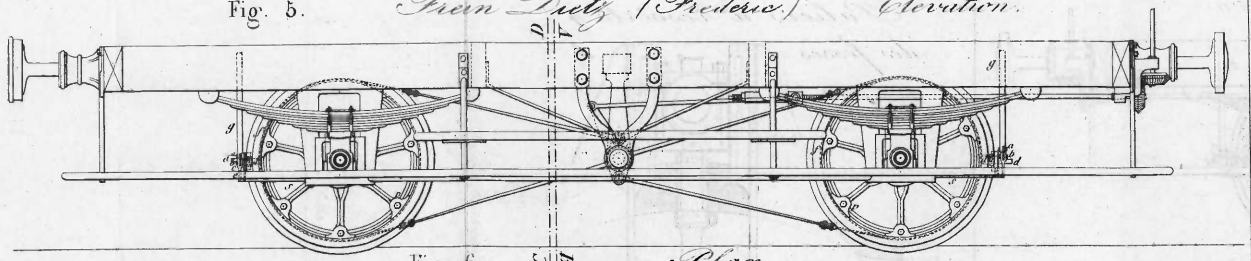
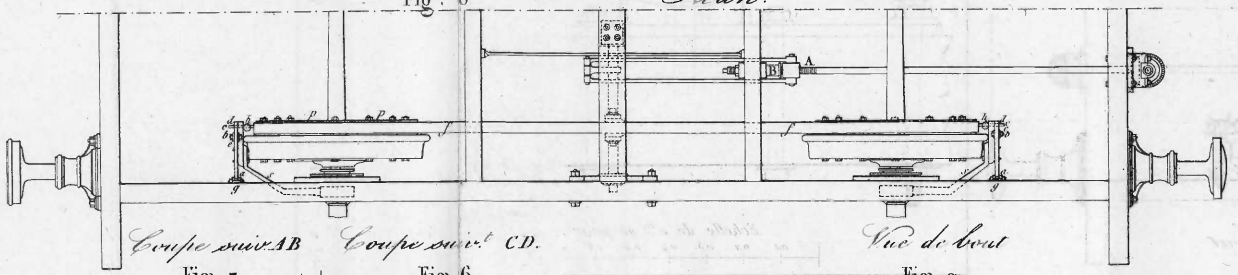


Fig. 6. *Plan.*



Coupe suiv.t AB *Coupe suiv.t CD.* *Vue de bout*

Fig. 7.

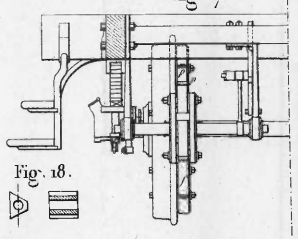


Fig. 6.

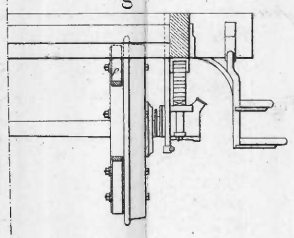


Fig. 9.

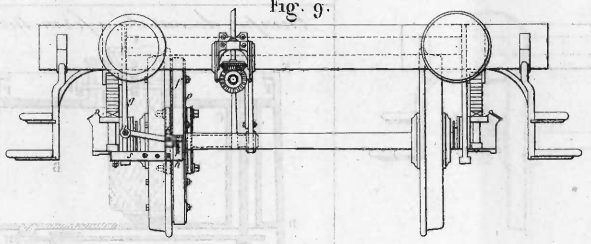
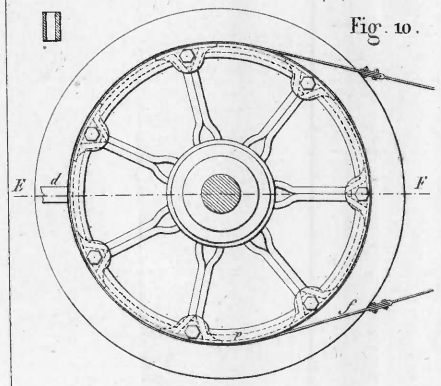


Fig. 18.

Fig. 10.



Coupe suiv. E.F.

Fig. 11.

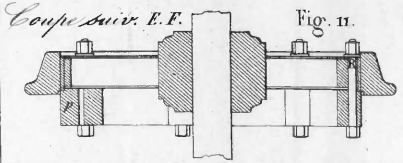
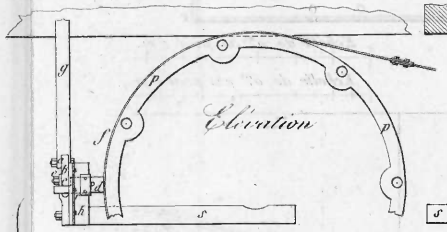


Fig. 12.



Élévation

Fig. 13.

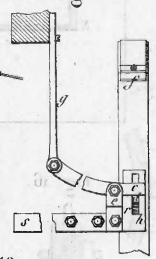


Fig. 14.

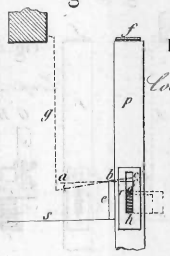
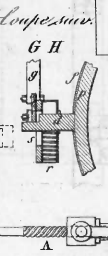


Fig. 15.



Coupe suiv. G H

Fig. 16.

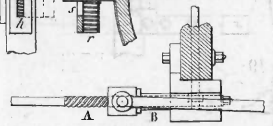


Fig. 19.

Plan

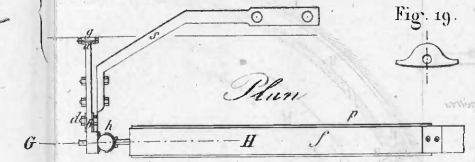
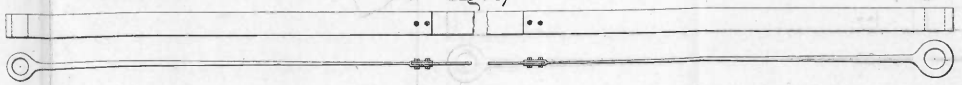


Fig. 17.

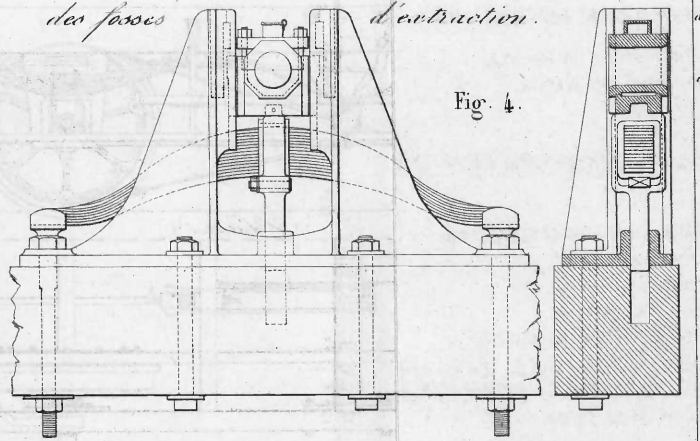


Échelle de 0.m 025 p.r 1 m. p.r les Fig. 5 à 9. 2 mètres

Échelle de 0.m 05 p.r 1 m. p.r les Fig. 10 à 19. 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 mètre

Paliers à ressorts pour les poulies des fosses d'extraction.

Fig. 4.



Échelle de 0.m 05 pour 1 mètre 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 mètre

Lampe de sureté à fermeture pneumatique

Fig. 2.

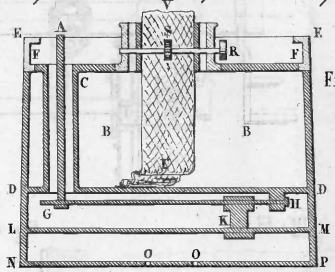
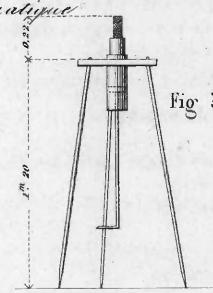


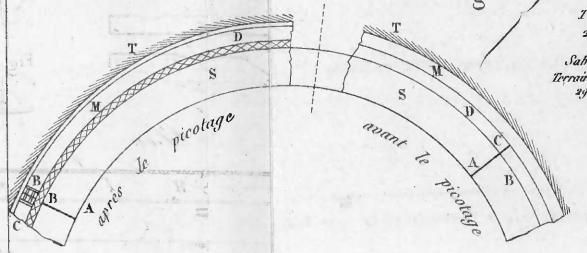
Fig. 3.



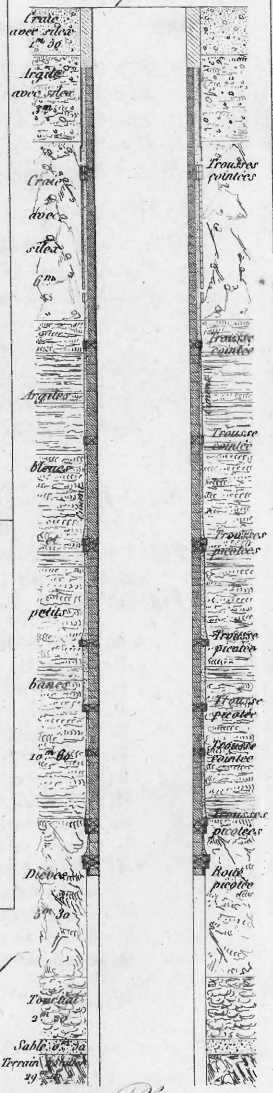
Échelle de 0.m 50 pour 1 m. pour la Fig. 2. 1 décimètre

Échelle de 0.m 025 pour 1 m. pour la Fig. 3. 2 mètres

Fig. 1.



Coupe du cuvelage en pierres.



Plan

Échelle de 0.m 004 p.r 1 m. 1 2 3 4 5 mètres

Fig. 1.

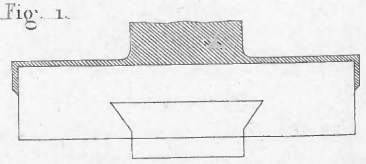


Fig. 2.

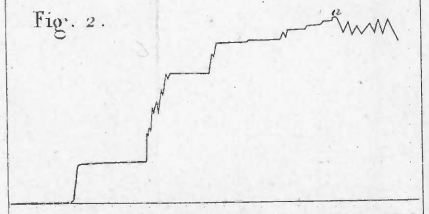
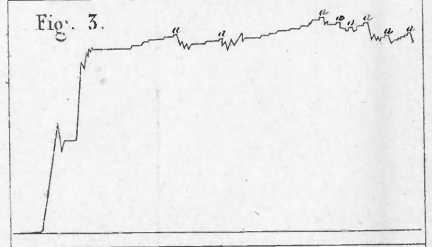


Fig. 3.



Coefficient de frottement du Fer, à surface grossière et rugueuse, sur rails plus ou moins secs ou mouillés

Patins (9)(6)(3)(2)

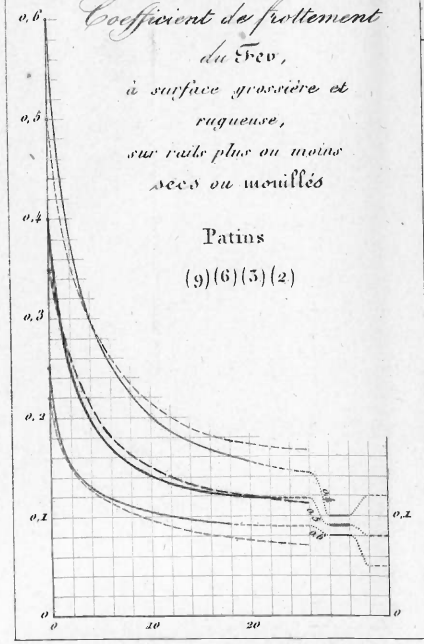
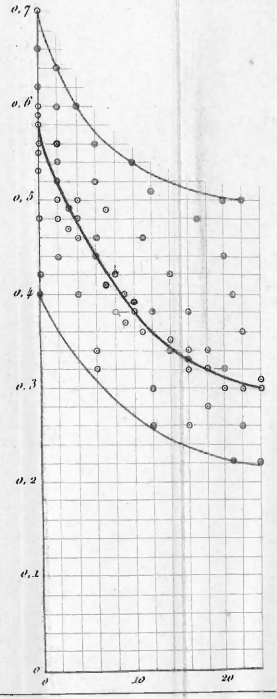
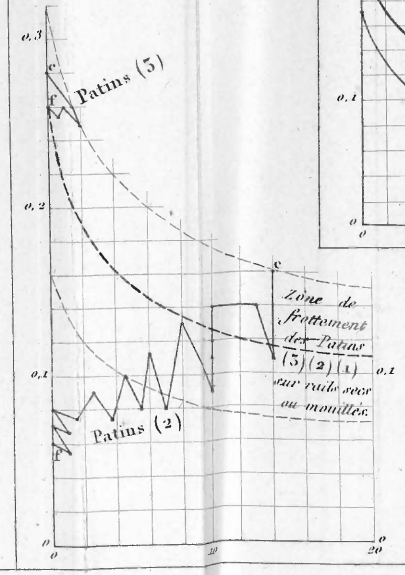
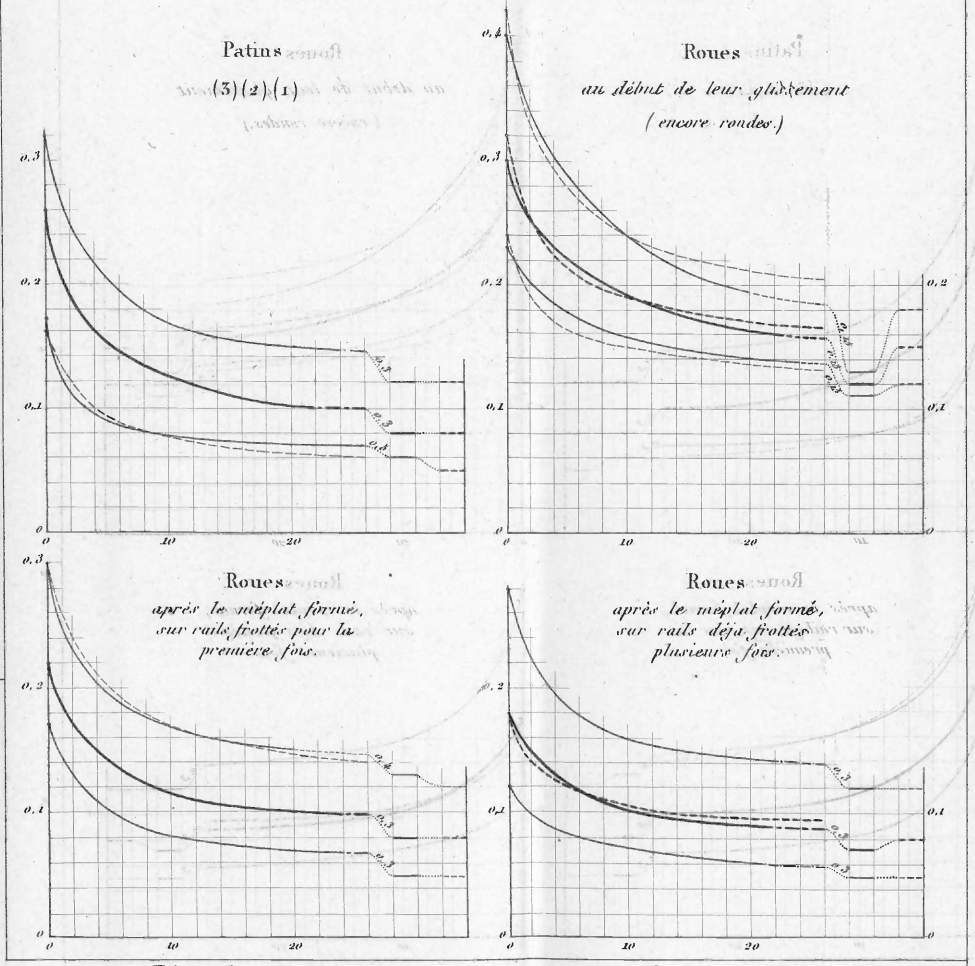


Fig. 4.





Coefficients de frottement du Fer, à surface dressée et demi-polie, sur Rails plus ou moins secs ou mouillés.



Résultats de quelques expériences sur le frottement du Fer, à surface dressée et demi-polie, sur Rails huilés

c. début du glissement. — f. fin du glissement.

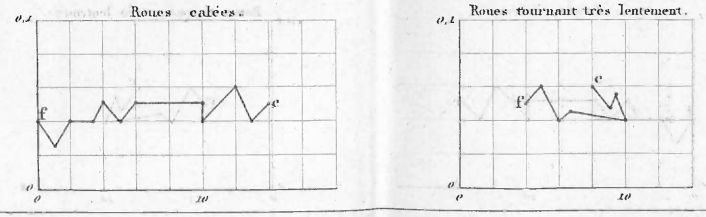
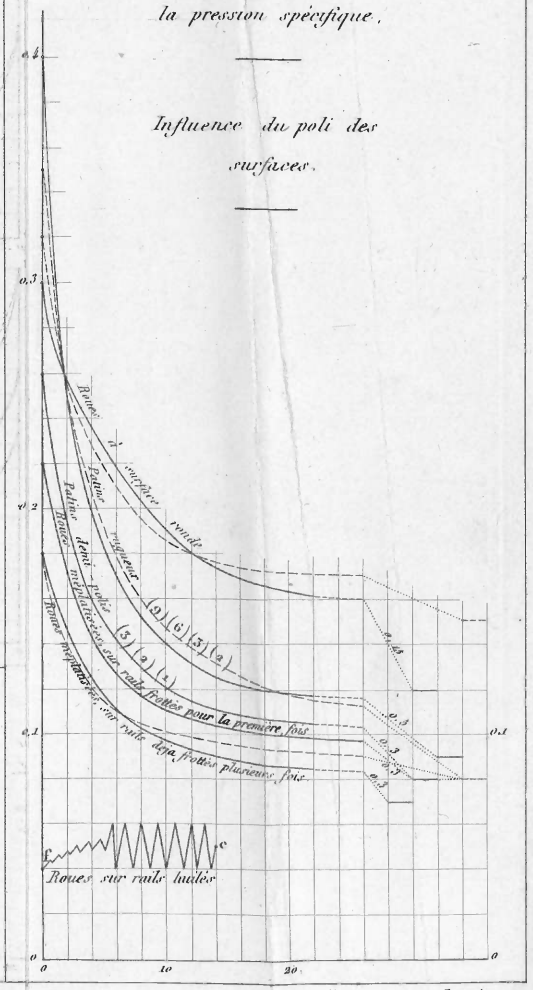


Tableau Synoptique

de comparaison des courbes moyennes de frottement du Fer sur rails plus ou moins secs ou mouillés.

Influence de l'étendue superficielle frottante, ou de la pression spécifique.

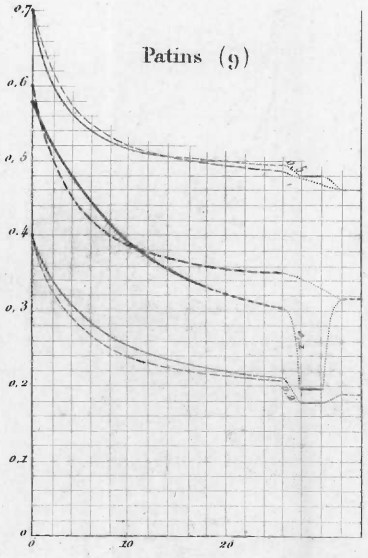
Influence du poli des surfaces.

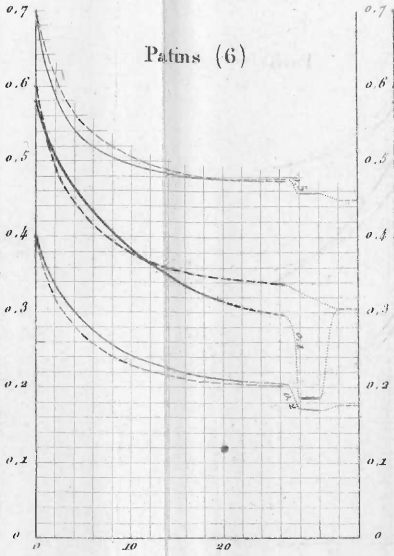


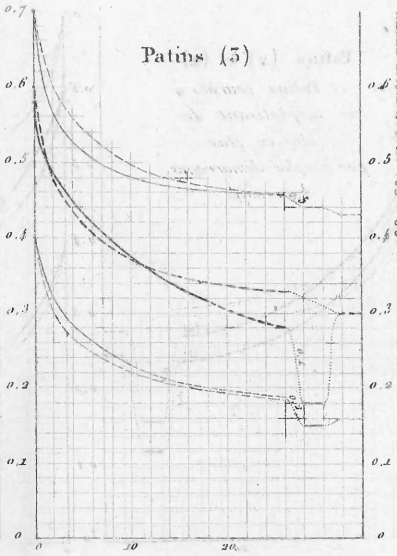
Lemaire sc.

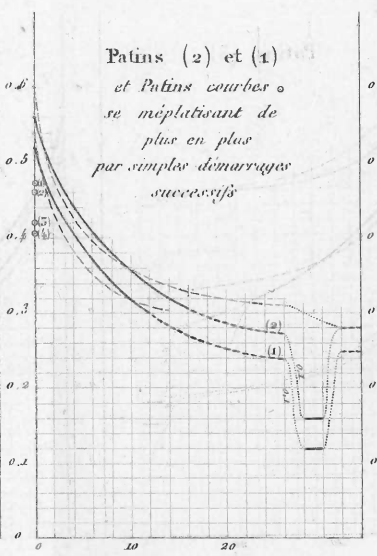
Coefficients de frottement de différents Bois, secs ou verts, sur rails secs (sensiblement.)

Bois de peuplier grisard.

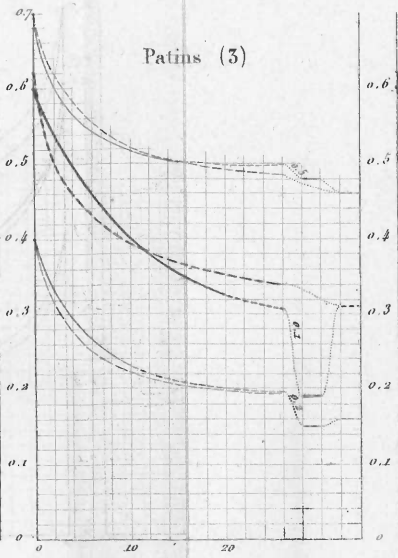


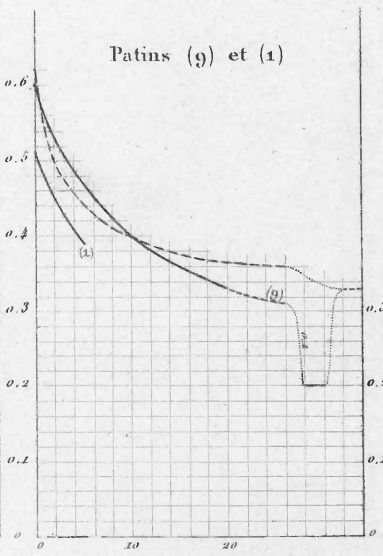




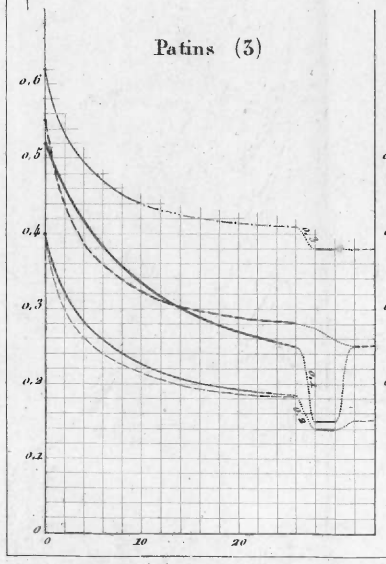


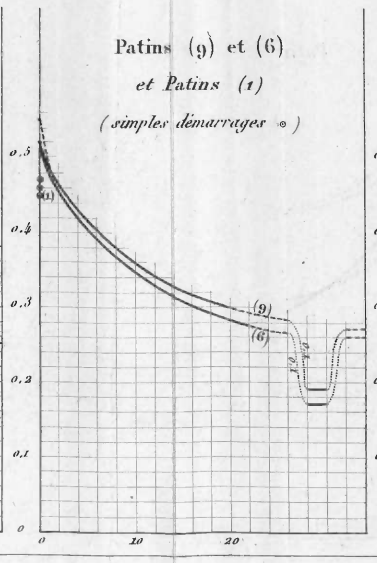
Bois de peuplier blanc.



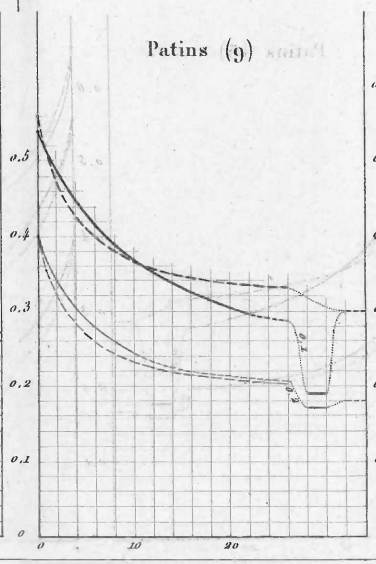


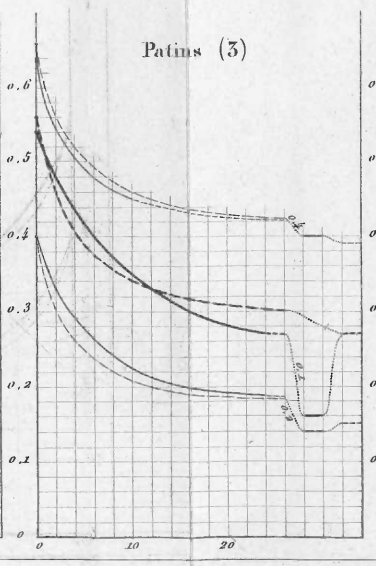
Bois de vieux chêne



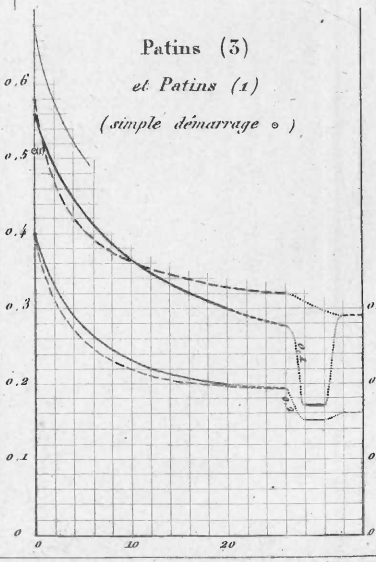


Bois d'orme tortillard





Bois de sapin



Annales des Mines, 5e Série, Tome XIX. pages 27 et suiv.

Lemaitre sc.

Coefficients de frottement des différents Bois sur rails secs.

Tableaux Synoptiques de comparaison

Influence de l'étendue superficielle frottante ou de la pression spécifique

Peuplier grisard

Patins (9) (6) (3) (2) (1)

et Patins courbes

par démarrages successifs avec emploi de plus en plus long.

Influence de l'espèce du bois

Patins (3)

Peuplier blanc.
Sapin.
Peuplier grisard.
Orme tortillard.
vieux Chêne.

Peuplier blanc.
Peuplier grisard.
Sapin.
Orme tortillard.
vieux Chêne.

Peupliers et Sapin.
Orme tortillard et vieux Chêne.

Coefficients de frottement des différents Bois

Patins (9) (6) (3) (2) (1)

sur rails **mouillés.**

Au début du glissement

Après une minute de glissement

(Cambouis aqueux)

Sapin (3)

Sapin (3)

Sapin (3)

Résultats de quelques expériences sur le frottement du Bois de Peuplier grisard, sur rails huilés.

c début du glissement.—f fin du glissement.

Patins (6) Patins (2) Patins (1)

Fig. 5.

Ordonnées — Valeurs du frottement.

M

α θ

O *Abscisses — Valeurs de la pression*

Fig. 6.

Fig. 7.

K maxim.

K moy. prolongement

K minim.

dans le frottement du bois de peuplier grisard sur rails secs.

d'une précision douteuse

d'une observations isolées

dans le frottement du fer à surface de K

maxima moyennes minima

valeurs moyennes de 7

sur rails plus ou moins secs ou mouillés sur rails huilés

d'une précision douteuse

d'une précision douteuse

Kilogrammes par centimètre carré.

Principaux Coefficients de frottement moyen du Fer et du Bois glissant sur Fer.

Réduits, simplifiés et approximatifs à la fois et autant que possible

(avec a = 0. 3 uniformément)

pour la pratique

K

Bois à nerfs sous pression de moins de 10 kilogr. par centimètre carré.

Bois tendres

Bois durs

7

Fer dont poli, bien et attaqué avec enduit gras

Bois de toute essence sous pression de plus de 300 kilogr. par centimètre carré

Bois résineux avec interposition d'eau pure sous pression de 6 kil. par cent. carré.

Bois résineux sous pression de moins de 100 kil. par cent. carré et aussi avec enduit gras, au début, avant poli, sous pression de moins de 20 kil. par cent. carré.

Bois de toute essence avec interposition d'eau pure et aussi avec enduit gras, au début, avant poli sous pression de moins de 20 kilogr. par centim. carré.

Bois avec enduit gras, après poli, sous pression de moins de 5 kil par cent.

Fer avec enduit gras, après poli, sous pression de 100 kil. par cent. carré

Fer demi-poli, avec enduit gras, au début, avant de s'être bien poli, sous pression d'environ 500 kil. par centimètre carré.

Bois avec enduit gras, après poli, sous pression de plus de 20 kil. par cent. carré.

m. par sec.

CARTE
GÉOLOGIQUE et SIDÉRURGIQUE
DE
L'ANGLETERRE

Dressée d'après celle de

S.R R. MURCHISON

comprenant

TOUS LES CHEMINS DE FER

LÉGENDE.

- *Terrains Modernes et Tertiaires.*
- *Crétacé.*
- *Jurassique.*
- *Permien.*
- *Trias.*
- *Houiller.*
- *Millstone grit.*
- *Calcaire Carbon.*
- *Dévonien, Silurien et Cambrien comprenant les Roches éruptives trappéennes.*
- *Roches granitiques.*
- *Chemins de fer.*

Aux noms soulignés correspondent des Usines à fer.

Hématite rouge (red. ore)

Houiller Newcastle

Mines et Usines à fer du Cleveland

Baie de Cardigan

CANAL DE BRISTOL

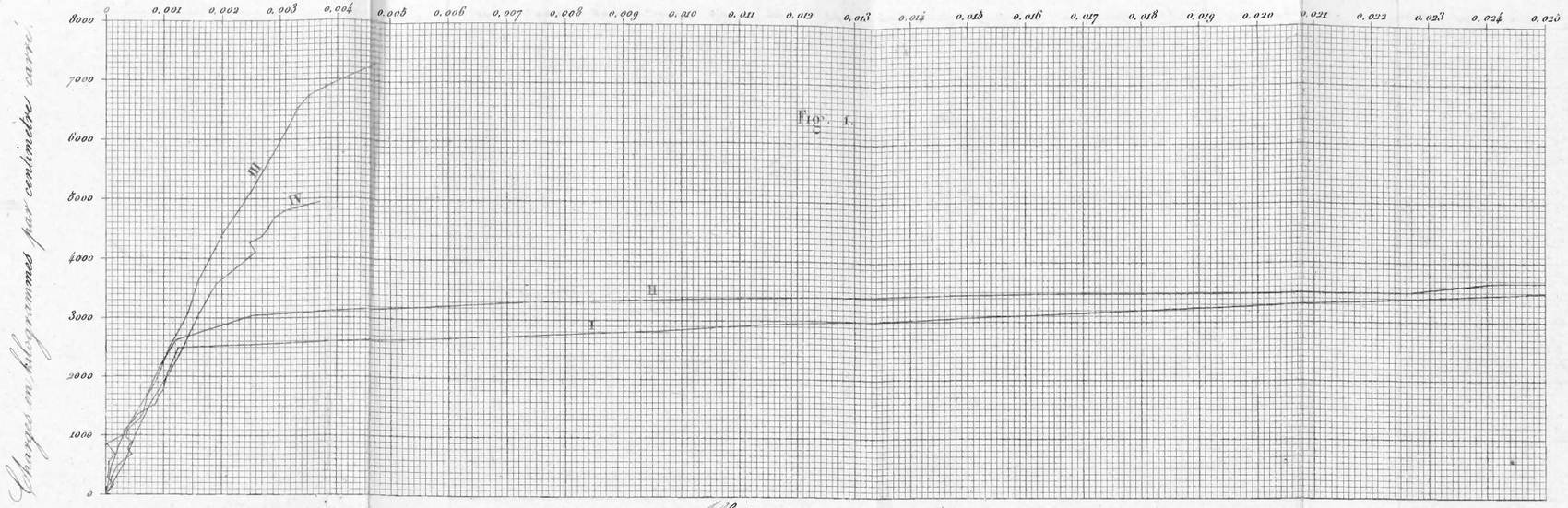
LA MANCHE

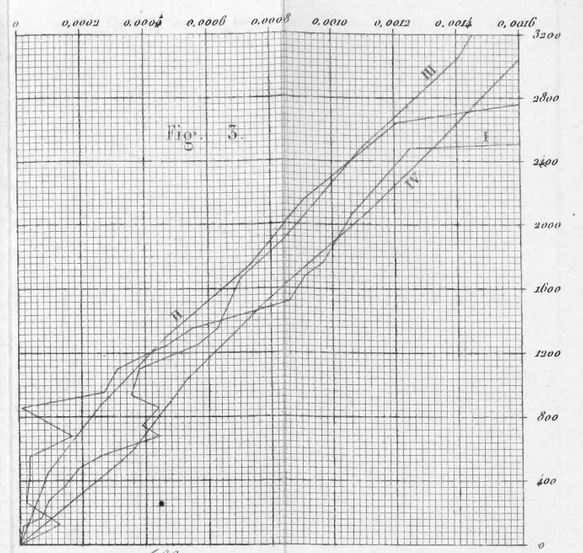
Echelle en Milles anglais.

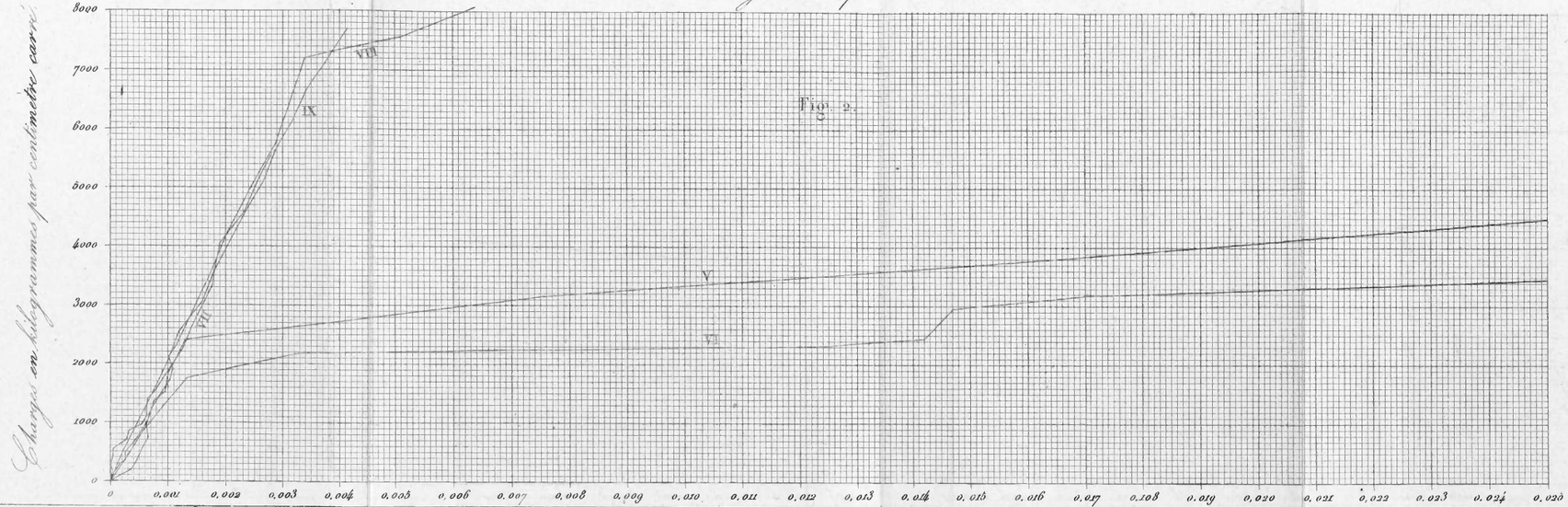
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Milles

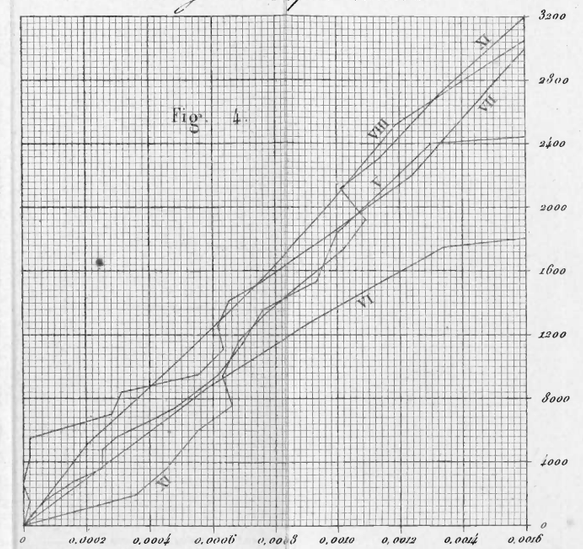
Imp.ie de Dunod Quai des Augustins. 49. Paris.

Lemaitre sc.









Annales des Mines, 5e Série Tome XIX. page 346.

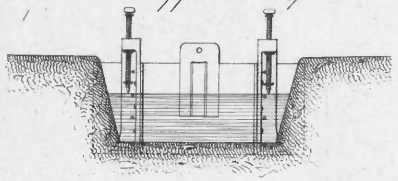
Imp.ie de Dunod, Quai des Augustins, 49. Paris.

Lemaître sc.

Appareil de jaugeage pour les sources minérales.

Fig. 5.

Élévation d'amont — appareil en place



Echelle de 0,05 p.r 1 mètre p.r la Fig. 5.

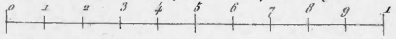


Fig. 6.

Plaque de rechange N° 2.

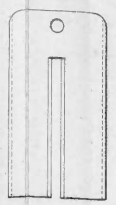


Fig. 6 bis

Fig. 7.

Plaque de rechange N° 1.

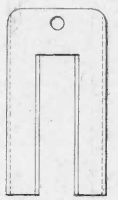


Fig. 7 bis

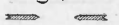


Fig. 8.

Élévation

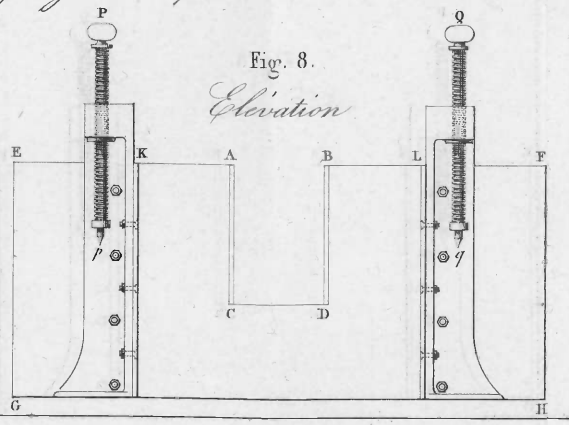
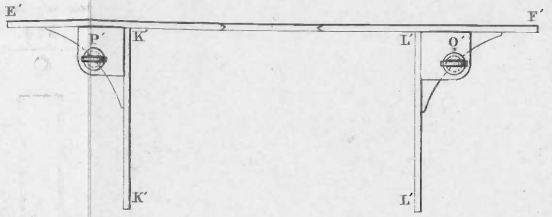
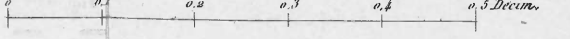


Fig. 9.



Echelle de 0,125 p.r 1 m. p.r les Fig. 6 à 9.

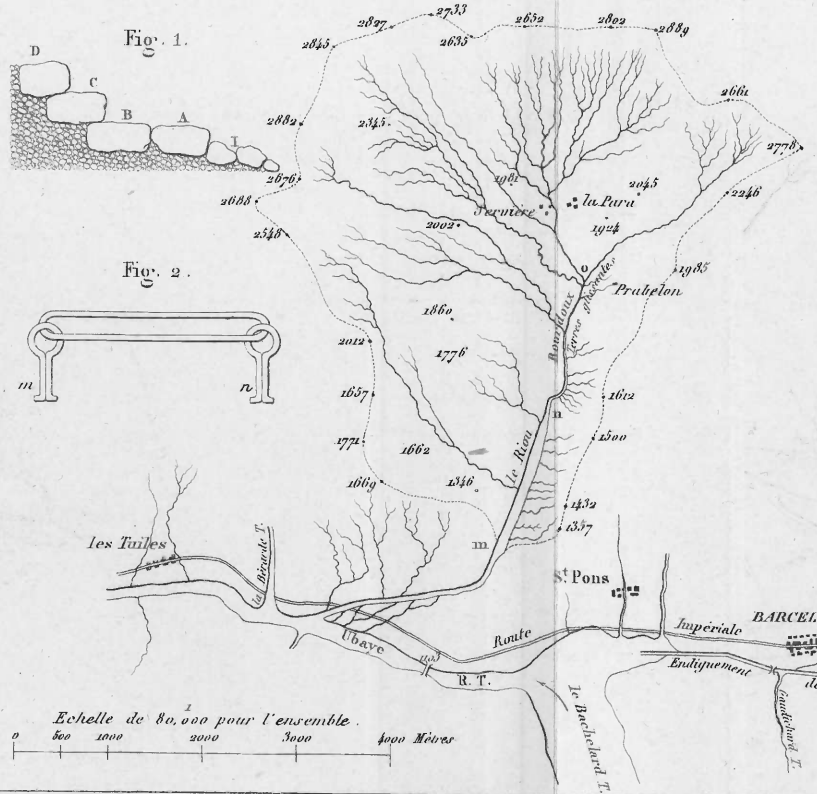


Barrages sur le Riou Bourdoux.

Fig. 3. Ensemble.

Fig. 1.

Fig. 2.



Echelle de $\frac{1}{80,000}$ pour l'ensemble.

Contour du Bassin de réception du Riou Bourdoux.

Pied de la montagne limitant le Cône de déjections du Riou Bourdoux.

Digues entretenues.

Digues enfouies sous le gravier.

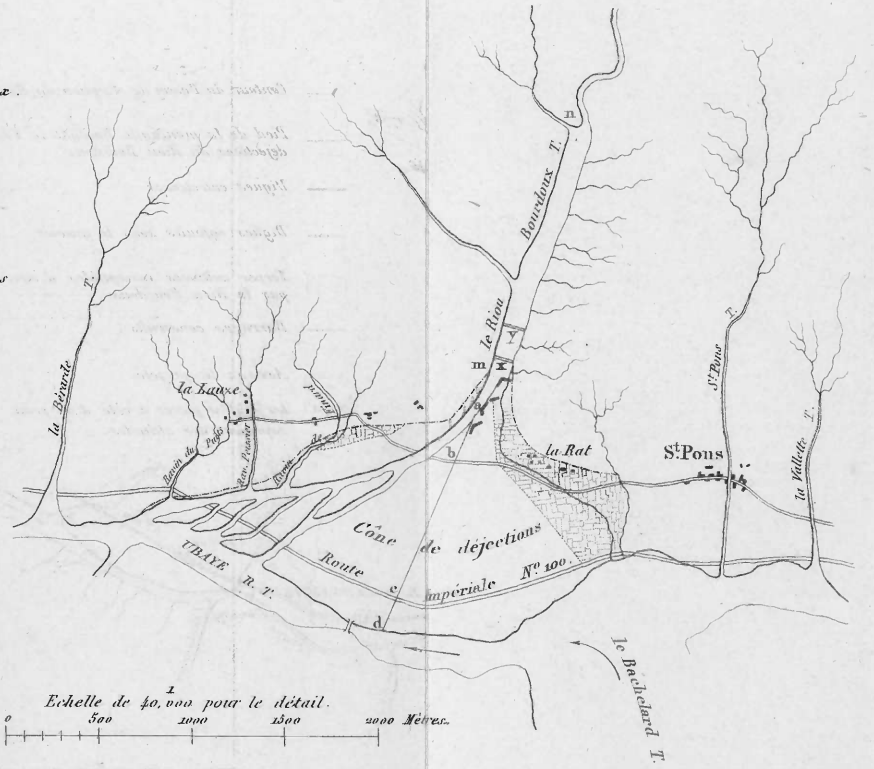
Terres cultivées susceptibles d'être submergées par le Riou Bourdoux.

Barrages construits.

Axe du lit projeté

Nota : Les chiffres placés à côté d'un point expriment des altitudes.

Fig. 4. Détail.



Echelle de $\frac{1}{40,000}$ pour le détail.

Machine à air chaud d'Ericsson.

Fig. 3.

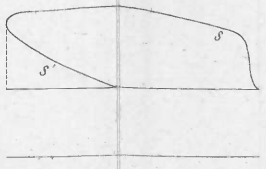


Fig. 2.

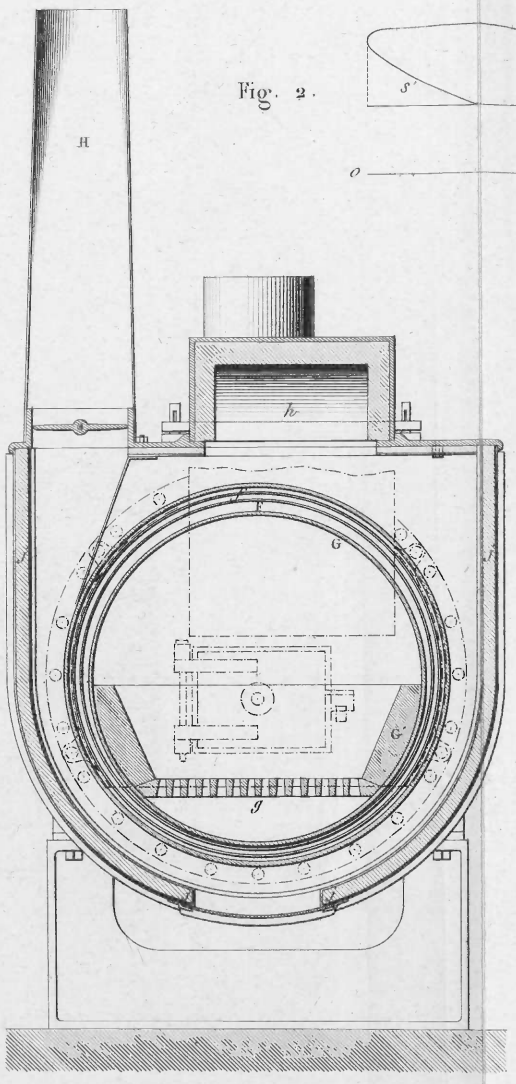
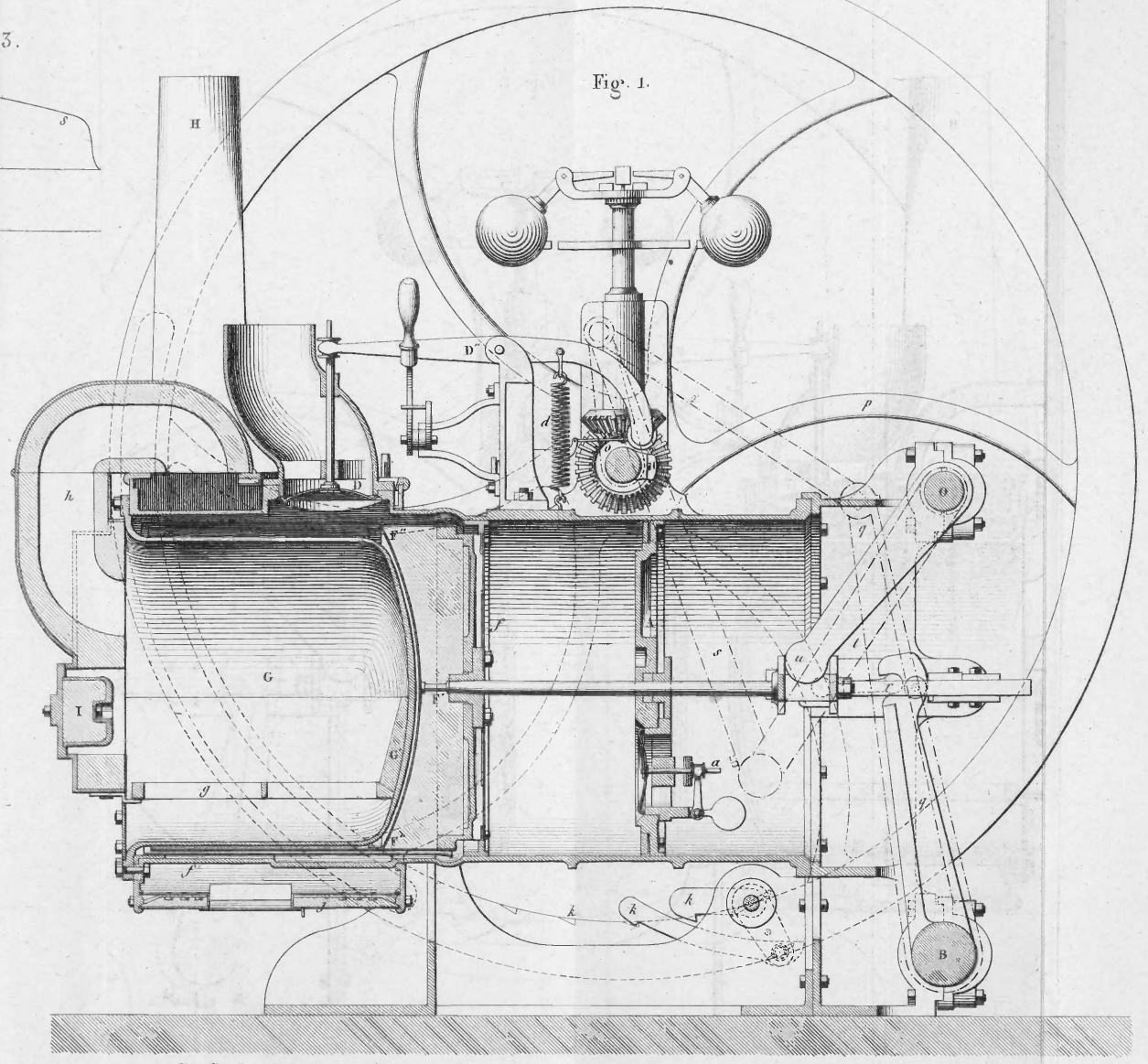


Fig. 1.



Echelle de 0,083 pour 1 mètre.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 1 Mètre

Fig. 4

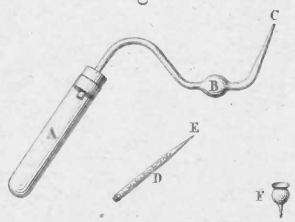
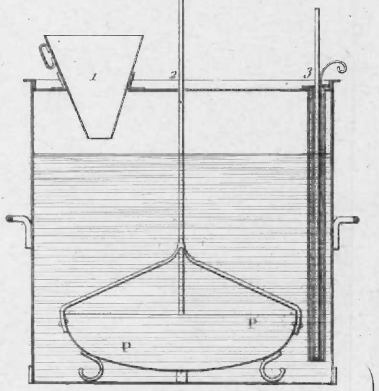
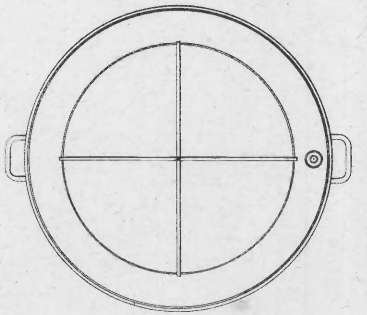


Fig. 5.



Calorimètre



Echelle de 1/10

1 2 3 4 5 Déc.

Annales des Mines, 5e Série, Tome XIX. pages 401 et suiv. 413 et suiv.

Imp.ie de Dunod, Quai des Augustins, 49, Paris.

Lemaître sc.

Moteur à gaz de M.r Lenoir

Fig. 3.

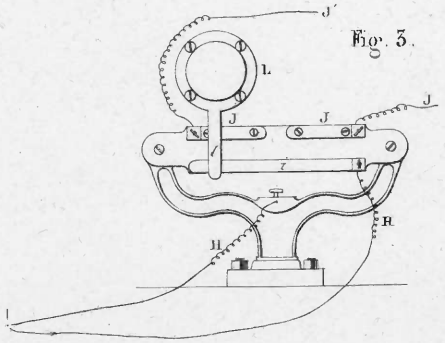


Fig. 4.

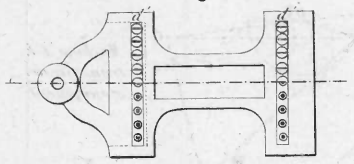


Fig. 5.

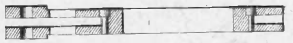
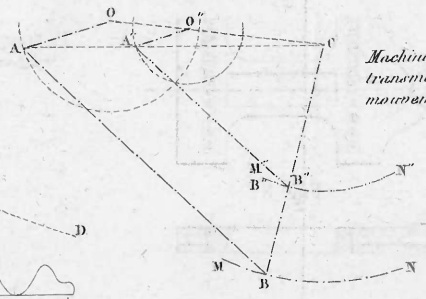


Fig. 6.

Fig. 7.



Machine d'Ericsson transmission de mouvement.

Fig. 8.

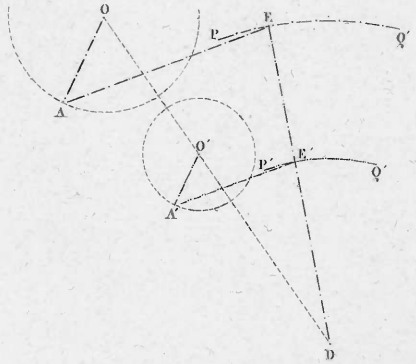


Fig. 9.

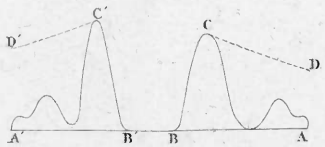


Fig. 1.

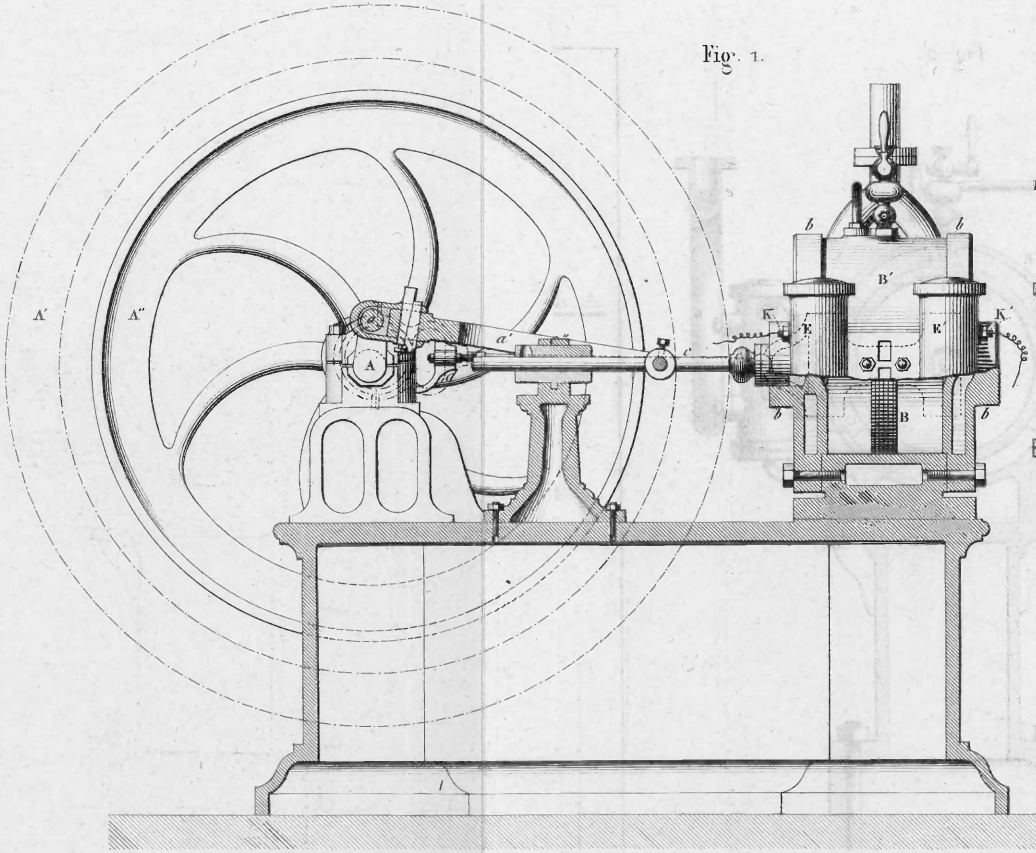
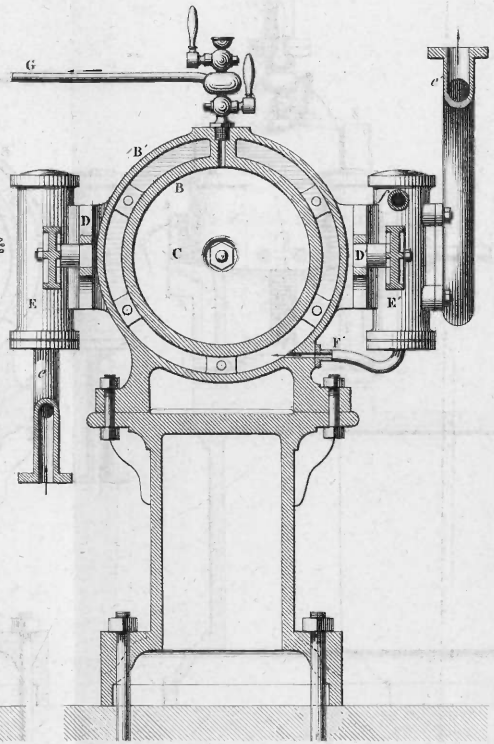


Fig. 2.



Echelle de 0.10 pour 1 mètre pour les Fig. 1 et 2.

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 Mètre

Echelle des Fig. 4 à 6.

0.1 0.2 0.3 0.4 5 Décimètres

Fig. 10.

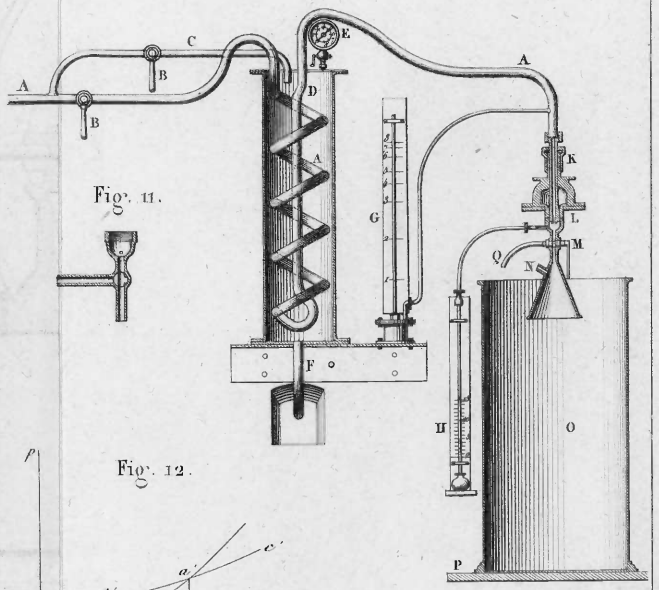
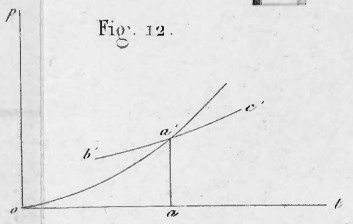


Fig. 11.

Fig. 12.



Annales des Mines. 5.e Série. Tome XIX. pages 379. 413 et 433.

Imp.ie de Dunod, Quai des Augustins, 49. Paris.

Lemaître sc.