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 XX.

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.

—

PREMIER SEMESTRE DE 1861.

FRANCE.

BARY. Sur la formation de zoospores chez quelques champignons. 1er mémoire. In-8°, 16 p. et une pl. — Paris, impr. Martinet.

BIRD. De l'urine et des dépôts urinaires considérés sous le rapport de l'analyse chimique, de la physiologie, de la pathologie et des indications thérapeutiques. Traduit et annoté par le docteur O'Rorke. Avec 143 fig. dans le texte. In-8°, XVI-502 p. — Corbeil, impr. Crété; Paris, libr. Victor Masson et fils.

DAMERY. Essai sur la détermination du degré de pureté des eaux de sources et de puits de la montagne de Laon par la méthode hydrotimétrique de MM. Boutron et Boudet. In-8°, 8 p. — Laon impr. Fleury.

FASSY. Les Catacombes, études historiques; avec la vue de l'ossuaire de Paris. In-8°, 60 p. — Saint-Cloud, impr. Ve Belin; libr. Dentu.

KELLER. Notice sur la carte des environs de Cherbourg, donnant les parcours des courants de flot et de jusant et les établissements de leurs étales observés en juillet, août et septembre 1844. In-8°, 12 p. et une carte. — Paris, impr. Paul Dupont.

VERDEIL. De l'Industrie moderne. In-8°, VII-576 p. — Paris, impr. Martinet; libr. V. Masson et fils; Garnier frères.

BESSEMER. Fabrication du fer et de l'acier (communication de l'auteur à la Société des ingénieurs civils de Londres et discussion qui s'y rattache). Traduction par M. Chobrzynski. In-8°, 32 p. — Neuilly, impr. Guiraudet.

ADHÉMAR. Traité des ponts biais en pierre et en bois; 2e *édition*. In-8°, 308 p., et atlas in-fol. de 26 pl. — Paris, impr. Thunot et Ce; libr. Lacroix; Dunod; L. Hachette et Ce.

CHARPENTIER. Notice sur eaux et les boues thermo-minérales sulfureuses de Saint-Amand (Nord). In-8°, 16 p. — Paris, impr. Bonaventure et Ducessois; libr. J. Masson.

DUHAMEL. Éléments de calcul infinitésimal. 2e *édition*. t. II. In-8, XV-490 p., une pl. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

LEMAITRE. Agriculture. Nouveau procédé de mouture du maïs, inventé par M. Betz-Pénot, d'Ulay. In-8, 12 p. — Paris, imp. Claye; 21, rue Louis-le-Grand.

SAIGEY, SONNET, etc. Éléments des sciences physiques et naturelles, rédigés conformément aux derniers programmes officiels. Grand in-18, XLIV-482 p. et 9 pl. — Paris, impr. Lahure et Ce; libr. L. Hachette et Ce.

CALLET. Tables portatives de logarithmes, contenant les logarithmes des nombres depuis 1 jusqu'à 108.000, les logarithmes des sinus et des tangentes de seconde en seconde pour les cinq premiers, de dix en dix secondes pour tous les degrés de quart de cercle, et, suivant la nouvelle division centésimale, de dix-millième en dix-millième, précédées d'un discours préliminaire sur l'explication, l'usage et la sommation des logarithmes, et sur leur application à l'astronomie, à la navigation, à la géomérie pratique et aux calculs d'intérêts, suivies de nouvelles tables plus approchées et de plusieurs autres utiles à la recherche des longitudes en mer, etc.; entièrement revues et corrigées par M. Saigey. *Édition stéréotype*. In-8, VIII-798 p. — Paris, impr. et libr. F. Didot frères.

COSSON. Liste des plantes observées aux environs de Thurelles (Loiret) sur les déblais et les remblais récents du chemin de fer de Moret à Montargis. In-8, 5. p. — Paris, imprimerie Martinet.

WEST. Discours sur la télégraphie sous-marine et souterraine, prononcé le vendredi 8 février 1861 à l'Institut royal du service uni à Londres. Traduit de l'anglais. In-8, 31 p. — Paris, impr. Bonaventure et Ducessois; l'auteur, 9, rue de Grammont.

BAUDOIN. Considérations sur les machines à vapeur. In-8, VIII-55 p. — Paris, impr. Carion; l'auteur, à l'École de droit.

BOUSSINGAULT. Agronomie, chimie agricole et physiologie. 2e *édition*, revue et considérablement augmentée. T. II. In-8, 400 p., 3 pl. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

DRION et FERNET. Traité de physique élémentaire, suivi de problèmes. 1re partie. In-12, XIV-376 p. avec fig. dans le texte. — Corbeil, impr. Crété; Paris, libr. V. Masson et fils.

FLOURENS. Ontologie naturelle, ou Étude philosophique des êtres. Grand in-18 anglais, VII-332 p. — Paris, impr. Claye; libr. Garnier frères.

GRAEFF. Construction des canaux et des chemins de fer. — Histoire critique des travaux exécutés dans les Vosges au chemin de fer de Paris à Strasbourg et au canal de la Marne au Rhin. Analyse détaillée et classement méthodique des dépenses faites pour ces travaux. In-8, 371 p. Paris, impr. Chaix et Ce; libr. Lacroix.

BROSSARD (de). Projet d'endiguement de la Seine, de Rouen à la mer, pour relier entre eux les ports de Rouen, du Havre et de Honfleur, avec observations et documents produits à l'enquête ouverte à Rouen le 25 août 1860. In-8, VI-69 p. — Rouen, impr. et libr. Péron; Lebrument; Paris, Ledoyen.

Bulletin de la Société linnéenne de Normandie. 5e vol. Année 1859-1860. In-8, 336 p. et 11 pl. Caen, impr. et libr. Hardel; Paris, libr. Derache.

HENRY. Analyse de l'eau de Grandrif (Puy-de-Dôme); suivie d'une notice sur les eaux minérales gazeuses naturelles de Grandrif, par le docteur Maisonneuve, inspecteur de ces eaux. In-8, 14 p. — Paris, imprimerie Poitevin.

JULIEN. Harmonies de la mer. Courants et révolutions. In-18 jésus, 240 p. — Paris, impr. et libr. Plon; E. Lacroix.

LEMAIRE. Du coaltar saponiné, désinfectant énergique arrêtant les fermentations. De ses applications à l'hygiène, à la thérapeutique, à l'histoire naturelle. In-8, 92 p. — Caen, impr. Poisson; Paris, libr. G. Baillère.

PAYEN. Mémoire sur la conservation des bois. In-8, 5 p. — Paris, impr. Bourdier et Ce.

QUATREFAGES (de). Unité de l'espèce humaine. In-8, 239 p. — Paris, impr. Claye.

STURM. Cours de mécanique de l'École polytechnique; publié d'après le vœu de l'auteur par M. E. Prouhet, répétiteur à l'École polytechnique. T. Ier. In-8, XII-330 p. — Paris, impr. Mallet-Bachelier.

DELESSE. Études sur le métamorphisme des roches. In-4. 99 p. — Paris, impr. impériale.

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. 1re année. In-18 jésus, VIII-512 p. — Paris, impr. Lahure et Ce; libr. L. Hachette et Ce.

GARCET. Éléments de mécanique à l'usage des candidats à l'École polytechnique et à l'École normale, rédigés conformément au programme prescrit par arrêté du 26 janvier 1855. 2e *édition*, revue et augmentée. In-8, VIII-352 p. — Paris, impr. Bonaventure et Ducessois; libr. Dezobry et Magdeleine.

GIRARDIN. Leçons de chimie élémentaire appliquée aux arts industriels. 4e *édition*, entièrement refondue, avec figures et échantillons de teintures et d'indiennes intercalés dans le texte. Tome 2. 1er fascicule. Chimie organique. In-8, 416 p. — Corbeil, impr. Crété; Paris, libr. V Masson.

GUÉRANGER. Études sur les richesses minérales renfermées dans les terrains crétacés du département de la Sarthe. In-8, 36 p. et planche. — Le Mans, impr. Monnoyer frères.

LAFON. Mémoire sur la rotation d'un corps solide autour d'un point fixe. In-8, 36 p. — Nancy, impr. Raybois.

LE GRAS. Phares du grand Océan, îles éparses et côtes occidentales d'Amérique. In-8, 15 p. — Paris, impr. P. Dupont.

LOUVIÈS et BASSI. Guide principal des chemins de fer français, contenant les tarifs des voyageurs et la description de ce que chaque station offre de plus remarquable, suivi d'un tableau indicatif des bateaux à vapeur français et étrangers faisant un service régulier entre les principaux ports de mer; compagnies propriétaires; jours et heures de départ; prix des places; tarifs des douanes et des docks, et traité de commerce avec l'Angleterre, etc.; suivi d'un précis historique du département des Bouches-du-Rhône, de la ville de Marseille et de ses environs. In-16, 754 p. et annonces commerciales. — Marseille, impr. et libr. Ve Olive.

LUNA (de). — Étude chimique sur l'air atmosphérique de Madrid; traduit de l'espagnol avec des notes, par M. H. Gaultier de Claubry. In-8, 59 p. — Paris, impr. Martinet; libr. J. B. Baillière et fils.

MAHISTRE. Mémoire sur le travail absorbé par les frottements dans les crapaudines et dans les guides. In-8, 32 p. et pl. — Lille, impr. Danel.

MORIN. Études sur la ventilation. In-8. 79 p. — Paris, impr. Bourdier et Ce.

SEYEUX. Cours de charpente, contenant la coupe et l'établissement des bois d'après de nouveaux procédés, avec des applications d'ombres et de perspective à la charpente. 2e *édition*. 1re partie. In-8, 192 p. — Paris, impr. Prissette; l'auteur, 199, rue Saint-Dominique Saint-Germain.

TERSSEN. Résistance d'un solide encastré dans des parois cylindriques et soumis à une pression uniformément répartie; application aux canons se chargeant par la culasse, système Wahrendorff; avec planche pour les fig. 1 et 2. In-8, 29 p. et pl. — Sceaux, impr. Dépée; Paris, libr. Corréard.

CHEVALIER. Les Arsenaux maritimes de l'Angleterre et les ports de refuge exécutés par l'État. In-8, 136 p. — Paris, impr. Lahure et Ce.

COSTE. Voyage d'exploration sur le littoral de la France et de l'Italie, 2e *édition*, suivie de nouveaux documents sur les pêches fluviale et marine, publiés par ordre de l'empereur, sous les auspices de S. Exc. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. In-4°, XXIII-283 p., pl. et grav. dans le texte. — Paris, impr. impériale.

COURNOT. Traité le l'enchaînement des idées fondamentales dans les sciences et dans l'histoire. 2 vol. in-8, IX-997 p. Dijon, impr. Rabutot. — Paris, libr. L. Hachette et Ce.

MOITESSIER. Étude chimique des eaux minérales de Lamalou (Hérault). In-8, 131 p., 2 tabl. et 2 pl. — Montpellier, impr. Boehm; libr. Patras; Paris, libr. A. Delahaye.

MOLLINÉ. Réflexions sur l'agriculture. In-16, 96 p. — Bordeaux, impr. Métreau.

RIVOT. Docimasie. Traité d'analyse des substances minérales à l'usage des ingénieurs des mines et des directeurs de mines et d'usines. Tome Ier, Métalloïdes. In-8, VII-607 p. et pl. — Paris, impr. Hennuyer; libr. Dunod.

BÉCHAMP et SAINTPIERRE. Étude chimique des matières glaireuses déposées dans les eaux de Molitg (Pyrénées-Orientales). In-8, 13 p. — Montpellier, impr. Boehm et fils.

BECQUEREL. Études sur la conductibilité des liquides dans les tubes capillaires. Rhéostat destiné à la comparaison des

grandes résistances. In-8, 24 p.—Paris, imp. Bourdier et Cᵉ.

Le Gras. Phares des côtes des Iles Britanniques. Corrigés en mars 1861. In-8, 72 p. — Paris, imp. P. Dupont.

Aurès. Étude et comparaison de quelques chapiteaux antiques, au double point de vue de l'architecture et de l'archéologie. In-4°, 82 p. et 3 pl. — Nîmes, impr. Clavel-Ballivet.

Courtois-Gérard. De la culture maraîchère dans les petits jardins. 4ᵉ *édition*, avec 15 figures. In-32, 181 p. — Paris, impr. Raçon et Cᵉ; libr. Savy.

Léon. Lettres sur la question des monnaies. In-8, IV-262 p. — Toulouse, impr. Bonnal et Gibrac; Paris, libr. Guillaumin et compagnie.

Majot. Notice sur les eaux minérales ferro-crénatées de Fontaine-Bonneleau (Oise). In-8, 26 p. — Paris, impr. Baudouin; tous les entrepositaires d'eaux minérales.

Mongé. Constructions en fer. Nouveau cours pratique et économique sur les constructions en fer, en général, d'un nouveau système, ou Nouveau traité contenant de nouvelles applications sur cet art relatives à la construction des travaux publics, chemins de fer et particuliers, avec atlas et texte, devis descriptif et explicatif, prix au kilogramme, à la pièce, au mètre carré et au mètre courant, suivi de nouvelles formules pratiques pour la résistance. In-4°, 60 p. et 9 pl. — Saint-Denis, impr. Moulin; l'auteur.

Annales des sciences physiques et naturelles, d'agriculture pratique et d'industrie. 3ᵉ série. T. IV. 1860. In-8, CXLIII-502 p., 3 pl. et 12 tabl. — Lyon, impr. et libr. Barret; Paris, libr. Treuttel et Wurtz.

Annuaire des marées des côtes de France, pour l'an 1862, publié au dépôt de la marine sous le ministère de S. E. le comte de Chasseloup-Laubat. In-18, VII-323 p. Paris, impr. F. Didot frères, fils et Cᵉ.

Boitard. Études antédiluviennes. Paris avant les hommes. Nouvelles études de la nature, illustrées de 30 gravures sur bois dessinées et quelques-unes gravées par l'auteur. Livraisons 1 à 4. In-8, 32 p. — Paris, impr. Claye; libr. Passard; les principaux libr. de France et de l'étranger.

Destremx de Saint-Christol. Essai d'économie rurale et d'agriculture pratique. 2ᵉ *édition*. In-8, XVIII-326 p. — Alais, impr. et libr. Veirun; Paris, libr. L. Hachette et Cᵉ.

Buignet. Application de la physique à la solution de quelques problèmes de chimie et de pharmacie. Mémoire présenté à l'Académie des sciences dans sa séance du 27 mai 1861. In-8, 69 p. — Paris, impr. Thunot et Cᵉ.

Carnot. Mémoires sur Carnot, 1753-1823. T. Iᵉʳ, 1ʳᵉ partie. In-8, 276 p. et portrait. — Paris. impr. Raçon et Cᵉ; libr. Pagnerre.

Cénac-Moncaut. Percement des Pyrénées. Chemin de fer et routes internationales en cours d'exécution, richesses naturelles, mines, forêts, thermes, industrie, commerce des deux versants, avec une carte géographique. In-8, 34 p. — Paris, impr. De Soye et Bouchet; libr. Dentu.

Courcelles. Notions sur quelques courbes usuelles. (Cours de rhétorique, sciences); suivies d'un cours d'algèbre. (Classe de logique, sciences.) In-4°, 128 p. et figures. — Saint-Quentin, autographie Hourtequin.

Desuzeau. Premières connaissances en agriculture, Cours élémentaire conforme au programme officiel d'enseignement primaire. In-18, XIV-125 p. — Beauvais, impr. Moisand; Paris, libr. Lacroix.

Dombasle (de). Enseignement public agricole. Écoles d'arts et métiers. In-12, 105 p. — Nancy, impr. vᵉ Raybois; Paris, libr. agr., vᵉ Bouchard-Huzard.

Gouvenot. Tarif de solivage des bois en grume au cinquième et au sixième réduit et des bois carrés. Ouvrage indispensable aux marchands de bois, agents forestiers, maîtres de forges, entrepreneurs de bâtiments, charpentiers, etc. 6ᵉ *édition*, augmentée du solivage des cercles. In-12, 80 p. — Nancy, impr. vᵉ Nicolas; libr. Hinzelin.

Guillemin. Recherches expérimentales sur l'induction volta-électrique. In-4°, 69 p. et pl. — Montpellier, impr. Boehm et fils.

Kopp. Recherches sur la garance d'Alsace. In-8, 24 p. — Paris, impr. Pillet fils aîné.

Le Gras. Phares des côtes occidentales d'Afrique et des îles éparses de l'océan Atlantique; corrigés en mars 1861. In-8, 10 p. — Paris, impr. P. Dupont.

Barreswil et Girard. Introduction au Dictionnaire de chimie industrielle; avec la collaboration de M. de Luca et MM. Berthellot, Bessand, Collinet, Govi, Hugard, baron de Liebig (de l'Institut), Riche, Ruau et docteur Sobrero; et tome I du Dictionnaire, 2 vol. in-8, VII-984 p. et vign. dans le texte. —

Paris, impr. Bonaventure et Ducessois; libr. Dezobry, Magdeleine et Cᵉ.

CHARDON. Géométrie et dessin linéaire élémentaire, ornés de 20 pl. contenant 556 fig. ou dessins gradués et variés, avec le texte en regard des pl., accompagnées de 300 problèmes sur la géométrie et le tracé géométrique, d'un formulaire d'actes sous seing privé et d'un questionnaire. 9ᵉ *édition.* In-8, 48 p. — Paris, impr. Donnaud; libr. L. Hachette et Cᵉ; Colas; Delalain; Maire-Nyon; Larousse et Boyer.

CORDIER. Observations sur le rapport de la commission spéciale des fontaines de la ville de Béziers. In-8, 45 p. — Paris, impr. F. Didot frères, fils et Cᵉ.

DESBOVES. Théorèmes et problèmes sur les normales aux coniques. In-8, 55 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

Devis pour la construction des salles d'asile, avec atlas de plans-modèles proposés par le comité central de patronage des salles d'asile. In-8, 250 p. — Paris, impr. et librairie P. Dupont.

Écoles régimentaires du génie. Instruction théorique. Cours nº 8. Levers (pour les sous-officiers). In-4°, 100 p. et 10 pl. — Paris, impr. impériale.

HERVIER et SAINT-LAGER. Guide aux eaux minérales du département de l'Isère et aux Alpes dauphinoises. Géologie et flore. Carte géographique et vign. In-12, x-378 p. — Lyon, impr. Perrin; libr. Scheuring; Paris, libr. Savy; Grenoble, libr. Maisonville et Jourdan.

VIEL. Construction des bâtiments de fer, cours de tracés et de calculs de déplacement et de stabilité hydrostatique. 2ᵉ *édition*, augmentée, publiée avec l'autorisation du ministre, accompagnée de 34 pl. In-8, VII-226 p. — Paris, impr. vᵉ Bouchard-Huzard; libr. A. Bertrand.

BOBILLIER. Principes d'algèbre. 5ᵉ *édition.* In-8, 292 p. — Châlons, impr. H. Laurent; Paris, libr. L. Hachette et Cᵉ; Mallet-Bachelier; Lacroix-Comon; Dalmont.

BUIGNET. Emploi du vide barométrique pour doser l'acide carbonique libre et combiné dans les eaux minérales, suivi de considérations sur la constitution des eaux de Vichy. Mémoire lu à l'Académie impériale de médecine, dans sa séance du 9 septembre 1856. In-8, 13 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

Chemin (le) de fer de Séville-Xérès-Cadix. In-8, 62 p. — Paris, impr. et libr. Schille.

DALIMIER. Géologie. Stratigraphie des terrains primaires dans la presqu'île du Cotentin. Proposition de zoologie, de botanique et de minéralogie. Thèses pour le doctorat ès sciences naturelles. In-4°, 145 p., 3 pl. — Paris, impr. Martinet.

GAUDRY. Note sur le steamer américain l'*Adriatic.* In-8, 20 p. — Neuilly, impr. Guiraudet.

GRANDIDIER. Voyage dans l'Amérique du Sud, Pérou et Bolivie. In-8, 314 p. — Paris, impr. Claye; libr. Michel Lévy frères.

HIFFELSHEIM. Des applications médicales de la pile de Volta, précédées d'un exposé critique des différentes méthodes d'électrisation. In-8, 152 p. — Paris, impr. Bailly, Divry et Cᵉ; libr. J. B. Baillière et fils,

LA SALLE. Métallurgie du fer, étude sur les théories actuelles. In-4°, 24 p. — Neuilly, impr. Guiraudet.

LECLAIRE. Recherches concernant l'influence que peut avoir l'essence de térébenthine sur la santé des ouvriers peintres en bâtiments et des personnes qui habitent un appartement nouvellement peint. — Paris, impr. vᵉ Bouchard-Huzard.

MAURY. Géographie physique de la mer. Traduit par P. A. Terquem, professeur d'hydrographie, etc. 2ᵉ *édition* française, revue et complétée sur la dernière édition de la géographie physique de Maury. Ouvrage accompagné d'un atlas de 13 pl. In-8, 586 p. — Paris, impr. Moquet; libr. Corréard.

MÉRAY. Geos, ou Histoire de la terre, de sa création, de son développement et de son organisation par l'action des causes actuelles. Géologie philosophique. 2 vol. in-8, 1015 p. — Paris, impr. Poitevin; libr. Garnier frères.

MORIN. Notions géométriques sur les mouvements et leurs transformations, ou Éléments de cinématique. 3ᵉ *édition.* In-8, 300 p., avec fig. dans le texte. — Paris, impr. Lahure et Cᵉ; libr. L. Hachette et Cᵉ.

COMBES, LORIEUX et COUCHE. Rapport au ministre des travaux publics sur l'application de la tôle d'acier fondu à la construction des chaudières à vapeur. In-8. — Dunod, à Paris.

PERDONNET et POLONCEAU. Portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer. 2ᵉ *édition.* In-8, 253 p. — Paris, impr. Hennuyer; libr. E. Lacroix.

WARD. Description du télégraphe océanique et naval, ornée de planches, traduit de l'anglais par F. Tolhausen. In-8, 6 p. et 4 pl. — Paris, impr. Chaix; M. Curtis, 6, boulevard Poissonnière.

ARMENGAUD. Guide manuel de l'inventeur et du fabricant, répertoire pratique et raisonné de la propriété industrielle en France et à l'étranger en matière de brevets d'invention, dessins et marques de fabrique, dépôts de modèles, produits artistiques et industriels. 5e *édition*. In-8, 422 p. — Paris, impr. Claye; les principaux libr. ; l'auteur 23, boulevard de Strasbourg.

DESGRANGES et COUCHE. Note sur l'abandon définitif des machines locomotives du système Engerth, pour le service du Semring. — Broch. in-8, 1861. — Dunod, à Paris.

BERGMANN. Les Compagnies de chemins de fer et l'État. In-4°, 8 p. — Strasbourg, impr. Silbermann.

BERGMANN. Qu'est-ce que le chemin de fer au point de vue de la voirie? au point de vue de l'État? au point de vue du public? In-4°, 23 p. — Strasbourg, impr. Silbermann.

BRETON. Traité du nivellement, comprenant la théorie et la pratique du nivellement ordinaire et des nivellements expéditifs dits préparatoires ou de reconnaissance. 2e *édition*, revue, corrigée et augmentée. In-8, XX-336 p. et 4 pl. — Paris, impr. ve Bouchard-Huzard ; libr. Mallet-Bachelier.

CARVALLO. Recherches sur les lois expérimentales du tassement des remblais. In-8, 20 p. — Neuilly, impr, Guiraudet.

GUETTIER. De l'emploi pratique et raisonné de la fonte de fer dans les constructions, recueil d'expériences, d'études et d'observations pratiques adressé aux ingénieurs, aux architectes, aux constructeurs et à toutes les personnes appelées à se servir de la fonte. In-8, VIII-551 p. — Corbeil, impr. Crété ; Paris, libr. E. Lacroix.

ROULLEAUX. De l'industrie moderne. Compte rendu par Marcel Roulleaux. In-8, 15 p. — Paris, impr. Poupart-Davyl et Ce ; libr. V. Masson et fils ; Garnier frères.

Statistique de l'industrie minérale. Résumé des travaux statistiques de l'administration des mines en 1853, 54, 55, 56, 57, 58 et 59. Ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. Direction des mines. In-4°, CXLII-590 p. — Paris, impr. impériale.

BORIE. Notice sur le lac Supérieur et ses mines de cuivre de la rive américaine. In-8, 52 pl. et carte. — Saint-Étienne, impr. ve Théolier.

BOULADE. Notice sur la galvanoplastie. In-8, 16 p. — Lyon impr. Rey et Sézanne.

DORLHAC. Schistes bitumineux de Bruxières-la-Grue (Allier); par M. G. Bertrand, ingénieur aux hauts fourneaux de l'Horme, suivi de la description d'un appareil à air chaud employé dans la Moselle. In-8, 51 p. et pl. — Saint-Étienne, imp. ve Théolier.

LESPIAULT. Mémoire sur le mouvement des nœuds de la lune et l'inégalité en latitude qui donne la mesure de l'aplatissement de la terre. In-8, 54 p., avec fig. — Bordeaux, impr. Gounouilhou; Paris, libr. Mallet-Bachelier.

BOUCHUT. De l'emmagasinement et de la salubrité des eaux de Paris. In-8, 17 p. — Paris, impr. Plon.

DU MONGEL. Recherches sur les constantes des piles voltaïques. In-8, 20 p. — Paris, imp. Hennuyer.

EBELMEN. Recueil des travaux scientifiques, revu et corrigé par M. Salvétat, chimiste, professeur à l'École centrale des arts et manufactures ; suivi d'une notive sur ses travaux, par M. E. Chevreul membre de l'Institut. Tome III. In-8, XII-282 p. et tableau. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

FABRE. Étude sur les scories plombifères de la province d'Iglésias (île de Sardaigne). In-8, 28 p. et plan. — Saint-Étienne, impr. ve Théolier.

GAUDRY. Traité élémentaire et pratique de l'installation, de la conduite et de l'entretien des machines à vapeur fixes, locomobiles et marines, à l'usage des propriétaires d'usines à vapeur, mécaniciens, etc. 2e *édition*, entièrement refondue et augmentée. T. I. In-8, VII-544 p. — Paris, impr. Hennuyer ; libr. Dunod.

REVEIL. Sur les progrès récents de la toxicologie et ses tendances actuelles. In-8, 19 p. — Paris, impr. Rignoux ; libr. Asselin.

DES CLOIZEAUX. Leçons de cristallographie professées à l'École normale (1861). In-4°, 100 p. — Paris. impr. et libr. Mallet-Bachelier.

Expériences sur la dureté des métaux. In-8, 49 p. et pl. — Paris, impr. Moquet ; libr. Corréard.

Exposé sommaire du contrôleur électrique de la marche des trains sur les chemins de fer et de l'appareil de secours pour les voyageurs. In-8, 24 p et pl. — Paris, impr. Moquet.

FILHOL et REVEIL. Analyse chimique des sources sulfureuses thermales de Cauterets (appartenant à la vallée) In-8, 30 p. — Tarbes, impr. et libr. Telmon.

LANGLOIS. Des ateliers dangereux, insalubres ou incommodes. Étude administrative. In-8, 36 p. — Amiens, impr. Jeunet.

BORGNET. De la mesure des aires sphériques. In-8, 12 p. — Tours, impr. Ladevèze (1860).

BOUCHEPORN (de). Études sur l'histoire de la terre et sur les causes des révolutions de sa surface. 2e *édition* (posthume), contenant de nombreuses corrections faites par l'auteur à l'édition première. In-8, L-462 p. et 2 pl. — Bordeaux, impr. Gounouilhou; Paris, libr. Dunod.

DESHAYES. Distribution des mollusques acéphales dans le bassin tertiaire de Paris. In-8, 18 p. — Paris, impr. Martinet.

LAUSSEDAT. Leçons sur l'art de lever les plans, comprenant les levers de terrains et de bâtiments, la pratique du nivellement ordinaire et le lever des courbes horizontales à l'aide des instruments les plus simples. Ouvrage utile aux propriétaires, aux agents des travaux publics, aux instituteurs, etc. In-4°, 97 p. et 10 pl. — Paris, imp. impériale; libr. Mallet-Bachelier.

LE CANU. Instructions sur le soufrage des vignes. Grand in-18, 36 p. — Corbeil, impr. Crété; Paris, libr. Goin.

LESAGE. Traité pour le cubage des bois, suivant le mode usité, au quart de la circonférence. Ouvrage nécessaire aux entrepreneurs, marchands de bois, propriétaires, etc., et à toutes les personnes intéressées au cubage des bois ronds. In-18, 103 p. — Abbeville, impr. Housse.

LOVE. Mémoire sur la loi de résistance des piliers d'acier, déduite de l'expérience pour servir au calcul des tiges de piston, bielles, etc. In-8, 48 p. — Neuilly, impr. Guiraudet.

BÉCHAMP et GAUTHIER. Nouvelle analyse chimique de l'eau thermale de Balaruc-les-Bains. In-8, 47 p. — Montpellier, impr. et libr. Bœhm et fils.

HEUZÉ. Les Assolements et les systèmes de culture. Ouvrage orné d'un grand nombre de vignettes sur bois. In-8, VIII-554 p. — Paris, impr. Lahure et Ce; libr. L. Hachette et Ce.

MOLINOS et PRONNIER. Étude sur l'utilisation des routes pour l'établissement de chemins de fer économiques. In-8, 47 p. — Paris, impr. Hennuyer.

MULDER. De la bière : sa composition chimique, sa fabrication, son emploi comme boisson. Traduit du hollandais, avec le concours de l'auteur, par A. Delondre, ancien préparateur de chimie au Muséum d'histoire naturelle de Paris. In-18 jésus, VIII-444 p. — Corbeil, impr. Crété; Paris, libr. J. B. Baillière et fils.

Observations météorologiques faites à neuf heures du matin à l'observatoire de Lyon, du 1er décembre 1857 au 1er décembre 1859, par M. Aimé Drian, sous la direction de M. Frenet, professeur et directeur de l'observatoire. In-8, 73 p. et tableau. — Lyon, impr. Rey et Sézanne.

OLINCOURT (d'). Transformation des inondations en de fécondes irrigations, ou l'agriculture rendue florissante par l'emploi des eaux pluviales au moyen d'un système perfectionné de labourage horizontal, d'un système de plantations irriguées et de bassins irrigateurs. 1re *édition*, pour la France. In-12, VI-361 p. — Mirecourt, impr. et libr. Humbert; Paris, libr., 43, rue Bonaparte.

PAYEN. Cours de chimie appliquée à l'industrie; leçons sur la conservation des bois. In 8, 59 p. — Paris, impr. Hennuyer.

Programme des conditions d'admission aux Écoles vétérinaires. (Ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.) In-12, 8 p. — Paris, impr. et libr. Jules Delalain.

ALLARD. Précis sur les eaux thermales (chloro-bicarbonatées mixtes, ferrugineuses, arsenicales) de Royat (Puy-de-Dôme). In-8, 63 p. — Clermont-Ferrand, impr. Hubler; Paris, libr. Delahaye.

MASURE. Mémoire sur l'analyse physique des terres arables, des marnes, des phosphates et des engrais minéraux. In-8, 20 p. — Caen, impr. Poisson.

DRIAN. Note sur le terrain houiller de Ternay et de Communay. In-8, 23 p. — Lyon, impr. Barret.

DU MONCEL. Recherches sur les transmissions électriques à travers le sol dans les circuits télégraphiques. In-8, 31 p. — Paris, impr. Hennuyer.

Électro-magnétisme (de l') appliqué aux chemins de fer pour l'aimantation des roues motrices des machines locomotives, afin de leur donner une adhérence additionnelle sans augmenter leur poids. Traduit de l'anglais par A. Prouteaux, ingénieur civil. In-8, 14 p. — Paris, impr. Augros.

JAMIN. Cours de physique de l'École polytechnique. Tome III. 1er fascicule. Électricité dynamique. In-8, 336 p., pl. et fig. dans le texte. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

MASSIEU. Sur les intégrales algébriques des problèmes de mécanique. Sur le mode de propagation des ondes planes et la surface de l'onde élémentaire dans les cristaux biréfringents à deux axes. Thèse pour le doctorat ès sciences mathématiques In-4°, 85 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

PIETTE. Note sur les gîtes analogues à celui de Fontaine-Etoupefour, rencontrés au sud du plateau paléozoïque de l'Ardenne, et observations sur l'âge des minerais qui couvrent le bord méridional de ce plateau. In-8, 7 p. — Paris, impr. Martinet.

AUZOUX. Sur la production animale. Société impériale zoologique d'acclimatation. Conférences des 20 mars et 1er mai 1861. In-8, 7 pages. — Paris, impr. Martinet; 19 rue de Lille.

BARRESWIL et DAVANNE. Chimie photographique, contenant les éléments de chimie expliqués par des exemples empruntés à la photographie; les procédés de la photographie sur glace, sur papier, sur plaques. etc. 3e *édition*, entièrement refondue et ornée de fig. dans le texte. In-8, XIX-504, p. — Paris, impr. et lib. Mallet-Bachelier.

MATHIEU DE DOMBASLE. Annales agricoles de Roville, ou Mélanges d'agriculture, d'économie rurale et de législation agricole. 2e livraison. 1825. 2e édition et 7e livraison, 4e édition. 2 vol. in-8, XXI-809 p., 10 pl. et 17 tabl. — Nancy, impr, ve Raybois; Paris, libr. ve Bouchard-Huzard.

MATHIEU DE DOMBASLE Traité d'agriculture; publié sur le manuscrit de l'auteur par Ch. de Meixmoron de Dombasle, son fils. 1re partie. Économie générale. In-8, XXX-379 p. — Nancy, impr. ve Raybois; Paris, libr. agricole; ve Bouchard Huzard.

Encyclopédie pratique de l'agriculteur, publiée par Firmin Didot frères et Ce, sous la direction de MM. Moll et Eugène Gayot.

AMY. Voyages d'un hydroscope, ou l'Art de découvrir les sources; avec une préface de M. A. S., ancien représentant. In-12, 147 pages. — Sèvres, impr. Lefèvre; Paris, libr. Roret.

BABINET. Notes sur quelques actualités scientifiques. Lu à la séance publique des cinq académies du 14 août 1861. Institut impérial de France. In-4°, 15 p. — Paris, impr. Firmin Didot frères, fils et Ce.

EUDES-DESLONGCHAMPS. Mémoire sur de nombreux ossements de mammifères fossiles de la période géologique dite diluvienne, trouvés aux environs de Caen. In-4° 120 p. et 12 pl. — Caen, impr. et libr. Hardel.

GAUCHERON. Cours de chimie agricole professé; publié par les soins du comice agricole de l'arrondissement d'Orléans, avec le concours et la collaboration de M. A. Cotelle. 2e année. 1860. In-8. IV-152 p. — Orléans, impr. Chenu.

HENRY. Rapport sur une nouvelle source d'eau minérale découverte à Contrexeville (Vosges), lu à l'Académie impériale de médecine. In-4°, 3 p. — Paris, impr, Chaix et Ce.

Mémoires de l'Académie impériale de Savoie. 2e série. T. IV. In-8, LXX-409 p. et 2 pl. — Chambéry, impr. Puthod fils.

PAYEN. Traité complet de la distillation des principales substances qui peuvent fournir de l'alcool : vins, grains, betteraves, fécule, tiges, etc. 2e édition, revue et augmentée, avec 55 fig. dans le texte et 16 pl.; comprenant la 4e édition de la distillation de la betterave. In-8, 991 p. — Paris, impr. et libr. ve Bouchard-Huzard.

RAULIN. Description physique de l'île de Crète. 2e partie. Géographie physique du sol. Météorologie. Grand in-8, 656 p. — Bordeaux, impr. et libr. Lafargue.

KELLER. Des ouragans, tornados, typhons et tempêtes. Typhons de 1848; typhon de 1849. In-8, 95 p. et 2 pl. — Paris, impr. P. Dupont.

LOUVEL. De l'application du vide par la vapeur, ou au moyen d'une pompe à double effet dans des cylindres métalliques, à la conservation des grains et farines, et toutes graines susceptibles d'être attaquées par la fermentation ou par des parasites. 2e édition. In-4°, 14 p. — Saint-Denis, impr. Moulin.

MARTINS. Sur l'accroissement nocturne de la température avec la hauteur dans les couches inférieures de l'atmosphère. In-4°, 43 p. et pl. — Montpellier, impr. Boehm et fils.

Observations météorologiques faites à Nijné-Taguilsk (monts Ourals, gouvernement de Perm). Année 1860. In-8, 43 p. — Paris, impr. Claye.

ROCHE. Note sur la masse des comètes. In-4°, 12 p. — Montpellier, impr. Boehm et fils.

Abécédaire haïtien, à l'usage de la jeunesse, suivi d'un précis historique, chronologique et géographique sur l'île d'Haïti. In-8, 40 p. — Paris, impr. Lahure et Ce.

Annales de la Société d'émulation du département des Vosges. Tome X. 3e cahier. 1860. In-8, 242 p. — Épinal, imprimerie ve Gley.

ARRONDEAU. Statistique végétale du département du Morbihan. In-3, 14 p. — Vannes, impr. Galles.

DEHÉE. Rapport général sur les travaux des conseils d'hygiène publique et de salubrité pendant les années 1858, 1859 et 1860. In-8, 148 p. — Arras, impr. Thierny.

FABRE. Cours élémentaire d'agriculture pratique appliqué aux écoles méridionales de la France. In-16, 174 p. avec fig. Tome I. Montpellier, impr. et libr. Gras.

GUBLER. Observations sur la flore du département des Alpes-Maritimes. In-8, 8 p. — Paris, impr. Martinet.

MARIOTTE. Analyse du Traité théorique et pratique des moteurs à vapeur de M. Armengaud aîné. In-8, 76 p. — Saint-Nicolas, près Nancy, impr. Trenel.

MELLEVILLE. Note sur les silex taillés des départements de la Somme et de l'Aisne. In-8, 16 p. — Soissons, impr. Darcosse; Laon, libr. Mme Padiez; Paris, libr. Dumoulin.

MOLINS. Sur les transformations successives qu'ont subies les grandes applications des sciences physiques dans les temps modernes. In-8, 25 p. — Toulouse, impr. Douladoure.

NOULET. Fossiles de la molasse et du calcaire d'eau douce (eocène supérieur) de Briatexte (Tarn). In-8, 6 p. et pl. — Toulouse, impr. Douladoure.

Programme des conditions d'admission des élèves externes à l'École des mines. (Ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.) In-12, 12 p. — Paris, impr. et libr. Jules Delalain.

PUILLE. Traité complet de la division des champs dans tous les cas. Géodésie usuelle, contenant toutes les méthodes arithmétiques et géométriques simples, claires et précises pour diviser les terrains d'une forme régulière et irrégulière en portions égales ou proportionnelles, d'après les différentes conditions imposées par les copartageants. Ouvrage rédigé à l'usage des géomètres-arpenteurs de profession et des amateurs d'applications géométriques. 3e édition, revue avec soin et corrigée. In-12, 288 p. et 16 pl. — Paris, impr. Ve Dondey-Dupré; libr. Fouraut.

ROUSSET. Dictionnaire de voirie des villes, bourgs et villages, ou Traité de la grande voirie, de la voirie urbaine, de la voirie vicinale, de la voirie de Paris, de l'expropriation pour cause d'utilité publique, des chemins de fer, des cours et de la police du roulage. In-18 jésus, IV-464 p. — Paris, impr. et libr. P. Dupont.

Annales de l'observatoire impérial de Paris, publiées par U. J. Le Verrier, directeur de l'observatoire. Observations. Tome XIV. 1858. In-4, VII-622 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

BERTIN. Opuscules de physique et de météorologie. In-4°, 36 p. et 2 pl. — Strasbourg, impr. Ve Berger-Levrault.

COET. Hydrologie du canton de Roye. In-8, 88 p. — Arras, impr. et libr. Rousseau-Leroy.

GERVAIS. Rapport sur les récompenses proposées par le jury de l'exposition des sciences naturelles (zoologie et minéralogie), tenue à Montpellier en 1860. In-8, 10 p. — Montpellier, impr. Grollier.

PAGEL. Recherches chronométriques. 5e cahier. Mémoire sur la marche des pendules et des chronomètres. In-8, 84 p. — Paris, impr. P. Dupont; libr. Bossange et fils.

PUILLE. Leçons normales de chimie élémentaire, théorique et appliquée, à l'usage des divers établissements d'instruction publique, augmentées d'une série d'expériences raisonnées, de problèmes résolus, et de dessins gravés sur cuivre intercalés dans le texte. In-12, VIII-448 p. — Paris, impr. Blot; libr. Fouraut.

RONDOT. Rapport sur l'industrie des soies et des soieries. In-4°, 57 p. — Paris, impr. impériale.

ALP. HEEGMANN. Essai d'une nouvelle méthode de résolution des équations algébriques au moyen des séries infinies. In-8, 1861.

BURAT (Amédée). Le Matériel des houillères en France et en Belgique. Descriptions des appareils, machines et constructions employés pour exploiter la houille. In-8 de 324 pages, avec atlas in-folio de 77 planches. — Liége, G. Noblet.

BUREAU (Th.). Manuel des chauffeurs et conducteurs de machines à vapeur, comprenant la description, la conduite, l'entretien et les dérangements des machines à vapeur fixes employées dans l'industrie. In-12 de 163 pages, avec 103 figures. — Gand, H. Hoste.

LESTGARENS (J.). La Situation économique et industrielle de l'Espagne en 1860. In-8 de 111 pages. — Bruxelles, Lacroix, Van Meenen et Ce.

SCHUBERT (G. H. de). Histoire naturelle des mammifères. Planches coloriées d'après nature et accompagnées d'un

texte explicatif en français, avec texte flamand en regard. Petit in-folio. Première livraison. — Bruxelles, C. Muquard.

BARTH (H.) Voyages et découvertes dans l'Afrique septentrionale et centrale, pendant les années 1849 à 1855. In-8. T. IV (*fin*) de 505 pages. — Bruxelles, A. Lacroix, Van Meenen et comp.

Des canons rayés en Belgique. Notes critiques sur la transformation de l'artillerie et sur les expériences qui ont été faites à Juliers en septembre 1860. 1861, br. in-8.

SCHMOELZL. Résultat des expériences faites par l'artillerie russe sur les effets des canons de 4 rayés de campagne. Traduit de l'allemand. 1861, br. in-8, avec planche.

TERSSEN. Canons rayés. Relation entre les pas des hélices et les calibres des bouches à feu. 1860, br. in-8.

TERSSEN. Résistance d'un solide encastré dans des parois cylindriques et soumis à une pression uniformément répartie. Application aux canons se chargeant par la culasse, système Wahrendorff, 1861, br. in-8 avec pl.

DEVILLEZ (A.). Théorie générale des machines à vapeur, mise à la portée des personnes qui n'ont point étudié les mathématiques supérieures. In-8 de VIII-472 p., avec un atlas de 18 pl. — Liége, F. Renard.

FRANQUOI (J.) Des progrès de la fabrication du fer dans le pays de Liége. In-8 de 146 p. — Liége, F. Renard.

HUMBOLDT (Alex. DE). Résumé du *Cosmos*. Trad. de l'allemand par le Burgkly. In-12 de 56 p. — Bruxelles, A. Lacroix, Verboeckhoven et Cᵉ.

LE HARDY DE BEAULIEU (Ch.). — Guide minéralogique et paléontologique dans le Hainaut et l'entre-Sambre-et-Meuse. In-8 de 120 p. — Liége, F. Renard.

POUCHET. Générations spontanées. État de la question en 1860. Grand in-8, 34 p. — Paris, impr. Malteste et compagnie.

HATON DE LA GOUPILLIÈRE. Traité théorique et pratique des engrenages. In-8, VIII-88 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

PIÉRRE. Mémoire sur la dégénérescence des prairies artificielles et les moyens d'y obvier. In-8, 52 p. — Orléans, impr. Pagnerre.

PELOUZE et FREMY. Traité de chimie générale analytique, industrielle et agricole. 3ᵉ édition, entièrement refondue, avec fig. dans le texte. Tome IV. 2ᵉ fascicule. Chimie organique. I. In-8, p. 736 à 1053. — Paris, impr. Martinet; libr. V. Masson et fils.

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.

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.

DELESSE. De l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre. (Extrait des annales des Mines. Tome XVIII, 1860.)

DE BONNEFOUX et PARIS. Dictionnaire de marine à voiles et à vapeur. 2 vol. grand in-8, papier jésus, accompagnés de 24 pl. gravées.

On vend séparément :

Le Dictionnaire de marine à voile, 2ᵉ édition.

Le Dictionnaire de marine à vapeur; 2ᵉ édition considérablement augmentée; un très-fort vol. grand in 8 de jésus, accompagné de 17 planches gravées, avec des figures sur bois dans le texte.

Ouvrage publié sous les auspices de S. Exc. M. le ministre de la marine.

PARIS. Traité de l'hélice propulsive. 1 vol. in-8 jésus de 580 p. avec 9 grands tableaux, une table alphabétique et figures dans le texte, accompagné de 16 grandes planches gravées.

Ouvrage publié sous les auspices de S. Exc. M. le ministre de la marine.

DU TEMPLE. Cours complet de machines à vapeur, fait à Brest, pour les mécaniciens de la marine impériale. 2 vol. gr. in-8 accompagnés de 2 atlas renfermant 56 planches gravées.

Tome Iᵉʳ, avec un atlas de 13 planches.

Arithmétique complète. — Géométrie. — Mécanique. — Physique.

Tome II, avec un atlas de 23 planches.

Exposition générale des machines à vapeur. — Description. — Montage. — Conduite. — Travail. — Entretien et répations. — Historique. — Tableaux divers.

DUBOIS. Cours de navigation et d'hydrographie. 1 fort vol. grand in-8, renfermant plus de 200 grandes figures intercalées dans le texte et 10 planches gravées.

De la boussole. Des connaissances des temps. Du cercle à réflexion. Du sextant et de l'octant. Des erreurs d'observations. Des chronomètres. Les régler. Détermination de l'heure vraie ou moyenne d'un lieu à l'aide d'une hauteur du soleil ou d'un autre astre. Détermination de la latitude et de la longitude. Déterminer la variation du compas. Des courants. Des cartes marines.

Géodésie. Détermination des positions géographiques des sommets principaux du canevas géodésique. Du nivellement géodésique. Lever d'une carte marine et d'un plan hydrographique. Détails topographiques.

DUBOIS. Cours d'astronomie, géométrie céleste, mécanique céleste et notions sur les marées. 1 vol. grand in-8, avec de nombreuses figures intercalées dans le texte et 4 grandes planches gravées.

Définitions astronomiques. Mouvement général de la shpère céleste. Coordonnées servant à déterminer la position d'un astre dans la voûte céleste. Instruments propres à mesurer le temps, les instants et les angles. Étude des étoiles. Étude du soleil. Étude de la lune. Différents modes d'observation. Éclipses. Calculs des éclipses. Études des planètes et de satellites. Notions sur les comètes. Éléments de mécanique céleste. Détermination des rapports des masses planétaires à la masse du soleil. Aberration de la lumière. Notions sur les marées.

DUDOIS. Etude historique sur les mouvements du globe. in-8.

DU TEMPLE. Dessins de machines à vapeur marines.

Cette publication se composera de huit séries.

Chaque série renfermera six grandes photographies.

1re série. Chaudières à carneaux. Chaudières tubulaires. Chaudières et grilles diverses. Alimentation des chaudières.

2e série. Machines anciennes. Machines à connexion indirecte ou à balanciers. Cylindres. Pistons. Soupapes de sûreté. Arbre de couche. Roues à aubes.

3e série. Machines à connexion directe et à bielle directe. Cylindre fixe. Machines à connexion directe et à bielle renversée. Cylindre fixe. Organes de distribution de la vapeur. Organes qui produisent une détente variable.

4e série. Machines à quatre cylindres condenseurs. Organes d'injection. Pompes à air. Indicateurs du vide. Paliers. Coussinets.

5e série. Machines à cylindres oscillants, Arbre d'hélice avec ses accessoires. Tuyautage.

6e série. Machines à fourreau. Bâches. Presse-étoupe. Hélices.

Les deux autres séries seront composées de planches représentant les nouvelles machines construites par l'industrie.

En vente, la première série. — Prix de chaque série, 24 fr.

MEUNIER-JOANNET. Cours élémentaire d'analyse, à l'usage de la marine, contenant un très-grand nombre d'applications. 1 vol. grand in-8, avec de nombreuses figures dans le texte.

Tableau des formules de trigonométrie. Complément de géométrie et d'algèbre. Notions de géométrie analytique. Éléments de calcul différentiel et intégral. Équations diverses et applications. Géométrie à trois dimensions.

DE LAPPARENT. Instruction sur les bois de marine et leur application aux constructions navales, suivie du tarif officiel pour la recette et le classement des bois de construction. 1 vol. in-4 avec figures sur bois, accompagné :

1° D'un tarif donnant l'équarrissage au milieu et le cube, au cinquième déduit, des arbres dont la hauteur et le tour, au pied et sur écorce, sont connus ;

2° De 42 planches gravées représentant : le dendromètre (instrument pour mesurer la hauteur des arbres sur pied) ; des coupes de navire, où l'on voit la fonction, dans la charpente d'un vaisseau, de chacune des pièces qui figurent au tarif officiel ; enfin de découpes d'arbres indiquant le meilleur parti à tirer des arbres, d'après leurs formes et leurs dimensions, avec l'extrait du tarif officiel ;

3° De 16 planches lithographiées en couleur, montrant les qualités et les vices principaux des bois de chêne.

Ouvrage publié d'après les ordres de M. le ministre de la marine.

DE LAPPARENT. Tarifs et tableaux divers pour le cubage et le classement des bois de marine. 1 vol. in-12.

Tarif de recette et de classement des bois de chêne.

Tableau des équarrissages théoriques, correspondant aux divers diamètres sur franc-bois.

Tableau pour servir au classement approximatif des arbres sur pied jugés propres au service de la marine.

Tableaux régulateurs des équarissages bruts à donner aux arbres en grume.

Tarif pour le cubage estimatif. au 1/5 déduit, des arbres sur pied.

Tarif pour le cubage, au 1/5 déduit, des bois en grume ou équarris.

Tarif de cubage pour les bois équarris, comprenant toutes les longueurs de 20 en 20 cent. et tous les équarrissages de 2 en 2 cent.

Chaque tarif est précédé d'une explication détaillée.

Bourgois. Mémoire sur la résistance de l'eau au mouvement des corps et particulièrement des bâtiments en mer, notions théoriques et fondamentales sur la résistance et formules générales. Expériences de Beaufoy sur les corps plongés et les corps flottant à fleur d'eau. Expériences de Bossut, d'Alembert et Condorcet sur les corps flottants et sur l'influence des limites du milieu. Mesure de la résistance des carènes des navires par les expériences dynamométriques de remorque, par les expériences de traction au point fixe, par la comparaison des coefficients d'utilisation. Vérification des valeurs de la résistance par le calcul et l'observation des coefficients d'avance des bâtiments à hélice. 1 vol. in-4 vélin accompagné de plusieurs tableaux donnant le résultat de toutes les expériences, et de 3 grandes planches gravées.

Paris. Catéchisme du marin et du mécanicien à vapeur, ou traité des machines à vapeur, de leur montage, de leur conduite, de la réparation de leurs avaries, 2e édition augmentée de la manœuvre des navires à roues à aubes ou à hélice, et d'une grande table. In-8 grand raisin avec de nombres figures dans le texte.

Paris. Appendice au catéchisme du marin et du mécanicien à vapeur, ou guide théorique du candidat au long cours, rédigé conformémeht au dernier programme, et description de divers appareils à vapeur avec toutes leurs pièces. In-8 accompagné de 10 planches gravées, avec plusieurs figures sur bois.

Paris. Utilisation économique des navires à vapeur, moyens d'apprécier les services rendus par le combustible suivant la vitesse et la dimension des navires. 1 vol. grand in-8 accompagné de 25 tableaux et 12 grandes planches gravées, exposant les résultats des expériences et du service à la mer des navires.

Bourgois. Rapport à son excellence M. le ministre de la marine sur la navigation commerciale à vapeur de l'Angleterre, suivi de considérations théoriques et pratiques sur les appareils moteurs et les hélices, installation. arrimage et mâture. Historique et statistique de la navigation à vapeur et considérations techniques. Tableaux synoptiques des contrats passés avec le gouvernement pour le transport des malles et des recettes postales qui en dérivent, états du matériel des compagnies anglaises de navigation à vapeur de long cours, et documents divers sur les compagnies transatlantiques anglaises ainsi que sur le cabotage. 1 vol. in-4 accompagné de 4 grandes planches gravées.

De Laronce. Expériences sur le mouvement alternatif de rotation communiqué aux propulseurs marins. Propulseur évolueur de Suet, second maître mécanicien de la marine. In-8 avec une figure.

Reech. Mémoire sur les machines à vapeur et leur application à la navigation. In-4 accompagné d'un grand atlas in-folio.

Meunier-Joannet. Cours d'algèbre et de trigonométrie à l'usage des écoles d'hydrographie pour les aspirants au long cours, rédigé, d'après le dernier programme. 1 vol. in-8, fig. dans le texte.

Paris. Essai sur la construction navale des peuples extra-européens, ou collection des navires et pirogues construits par les habitants de l'Asie, de la Malaisie, du grand Océan et de l'Amérique, mesurés et dessinés. Ouvrage publié par ordre du gouvernement. 1 fort vol. in-folio jésus vélin, de 160 p. de texte et 130 planches.

Reech. Machines du Brandon. Rapport à l'appui du projet des machines du Brandon, dressé en exécution d'une dépêche ministérielle. 1 vol. in-4.

Jal. Archéologie navale. Ouvrage publié par ordre du gouvernement. 2 vol. grand in-8 jésus vélin ornés de 70 vignettes gravées sur bois.

COLLOMBEL. Esquisses des connaissances indispensables aux officiers qui servent dans la marine militaire et dans l'artillerie de la marine, avec des considérations sur la spécialité de ces deux armes. 1 vol. in-8.

GUILLOUD. Cours de cosmographie. 1 vol. in-8 avec planches.

DE FRÉMINVILLE. Cours pratique de machines à vapeur professé à l'École d'application du génie maritime, à l'usage des ingénieurs civils, des ingénieurs des ponts et chaussées et des mines, des constructeurs de machines à vapeur et des mécaniciens; accompagné de 90 planches grand in-folio, représentant l'ensemble des machines et tous leurs détails avec les cotes exactes à chaque pièce, et 8 grands tableaux numériques de comparaison.

ANGLETERRE.

HOPKINS (THOMAS). *On winds and storms...* Des vents et des tempêtes : avec un essai sur les saisons et leurs variétés.

The english cyclopœdia... L'encyclopédie anglaise pour les arts et les sciences.

KING. *Lessons and practical notes...* Leçons et renseignements pratiques sur la vapeur, les machines à vapeur, les moteurs, etc. Pour les jeunes gens de la marine, les ingénieurs, les étudiants et autres.

KLIPPART. *The principles...* Les principes et la pratique du drainage; comprenant une courte histoire du drainage souterrain, l'examen détaillé de ses opérations et de ses avantages, une description des différentes espèces de drains. Avec des instructions pratiques pour la fabrication des tuyaux de drainage, ainsi que pour les manufactures où ces tuyaux sont fabriqués.

FREKE (H). *On the origin...* De l'origine des espèces par l'affinité organique.

HEATON (CHARLES WILLIAM). *The threshold...* Aperçu de chimie: introduction à la science par l'expérience.

HUNTER (JOHN). *Essays and observations...* Essais et observations sur l'histoire naturelle, l'anatomie, la physiologie, la psychologie et la géologie. OEuvres posthumes de Hunter (John), arrangées et revisées avec des notes auxquelles est ajoutée une introduction sur la collection des fossiles, donnée par M. Hunter au collége royal des chirurgiens d'Angleterre.

OWEN (RICHARD). *Memoir on the...* Mémoire sur le Megatherium, ou Géant des déserts de l'Amérique (Megatherium Americanum, Cuvier).

FAIRBAIN (WILLIAM). *Treatise on Mills...* Traité sur les moulins et sur leur travail. Ire partie : Des principes de mécanique et des mouvements ; comprenant l'estimation de la puissance de l'eau, la construction des roues hydrauliques et des tur-

bines, les propriétés de la vapeur, les différentes machines et chaudières à vapeur, ainsi que les moulins à vents.

OGILVIE (GEORGE). *The genetic cycle...* Le cycle de la génération dans la nature organique, ou la succession des formes dans la propagation des plantes et des animaux.

ALLEMAGNE.

BRUNO KERL. *Handbuch...* Manuel de métallurgie. Tome I, in-8° de 910 pages avec 16 grandes planches lithographiées. Freiberg, 1861, chez Thierbach (maison Engelhardt).

Cet ouvrage, qui forme un traité complet théorique et pratique sur la matière, comprendra 4 volumes. La première édition, publiée en 1854, avait été accueillie avec une faveur méritée. Dans celle-ci, l'auteur s'est attaché à introduire tous les développements que réclamaient les progrès de la science pendant cette période, et que sa position de professeur de métallurgie et de docimasie à l'École des mines de Clausthal l'appelle à suivre et à juger. C.

C. FR. T. PLATTNER. *Vorlseungen...* Leçons de métallurgie générale. 2e volume, 1re livraison. Freiberg, 1861. Le tome I a paru en 1859 chez Thierbach. La livraison nouvellement publiée traite de l'antimoine, de l'étain, du plomb avec les développements qu'exige l'importance de ce métal. L'ouvrage doit consister en 4 livraisons formant deux volumes.

Cet ouvrage posthume de l'ancien professeur de l'École des mines de Freiberg a été revu et publié par M. Th. Richter, professeur au même établissement. De nombreuses figures intercalées dans le texte représentent les divers machines et appareils. C.

V. COTTA. *Die lehre...* Traité des gîtes minéraux. Seconde partie, 2e section in-8°, 1861. Freiberg, chez Thierbach.

Cette deuxième édition de l'ouvrage du professeur de géognosie de Frieberg renferme un répertoire très-complet des gîtes minéraux et l'indication de leurs principaux caractères. C.

SCHEITLIN et ZOLLIKOFER. *Aus der Urzeit...* Sur les terrains antédiluviens de la Suisse.

MAYER (A.). *Grundlegund der Theorie...* La base de la théorie du calcul des variations.

GISKO (F.-J.). *Die fluorescenz...* La fluorescence de la lumière.

SCHULTZE (M.). *Die Hyolonemen...* Les Hyolonèmes; publication sur l'histoire naturelle des spongiaires.

WIEDEMANNN (G.). *Die Lehre vom Galvanismus...* L'étude du galvanisme et de l'électro-galvanisme ainsi que de leur emploi dans l'industrie.

ITALIE.

Atti della R... Actes de l'Académie royale des sciences, lettres et arts de Lucques.

Atti della... Rapport présenté au ministre des travaux publics par la commission instituée par le décret du 14 mai 1860 pour l'étude de la traversée des Alpes helvétiques par un chemin de fer. In-4 avec planches. — Turin, 1861; imprimerie Ceresole et Panezza.

Paris. — Imprimé par E. THUNOT et Cie, rue Racine, 26.

ANNALES
DES MINES.

ECOLE IMPÉRIALE DES MINES

MÉMOIRE

SUR LE SPIRAL RÉGLANT DES CHRONOMÈTRES ET DES MONTRES (1).

Par M. PHILLIPS,
Ingénieur des mines.

CHAPITRE PREMIER.

Historique.

On sait que, dans les appareils portatifs qui servent à mesurer le temps, l'ensemble du ressort spiral et de son balancier remplit l'office de régulateur tout comme le pendule dans les appareils fixes.

Huyghens, qui appliqua le premier le pendule aux horloges, est aussi l'inventeur du ressort spiral communément appelé spiral réglant, qu'il fit construire pour la première fois en 1674 par M. Thuret, habile horloger. Cette importante découverte lui fut contestée, il est vrai, à cette époque, par le docteur Hook d'une part, puis par l'abbé Hautefeuille. Mais il résulte de toutes les longues discussions dont l'invention du spiral fut l'objet, que le docteur Hook peut avoir eu la première idée d'un ressort droit appliqué au balancier ;

(1) L'Académie des sciences, dans sa séance du 28 mai 1860 et sur le rapport d'une commission composée de MM. Mathieu, Lamé et Delaunay, rapporteur, a décidé l'insertion de ce mémoire dans son Recueil des savants étrangers.

que l'abbé Hautefeuille l'aurait ployé en forme d'hélice, agissant dans le sens de son axe; mais que Huyghens seul perfectionna ces idées informes en donnant à ce ressort la forme spirale qui, ne gênant plus les grandes vibrations du balancier, a rendu ce régulateur extrêmement précis. Enfin, on doit à Pierre Leroy la découverte de la propriété de l'isochronisme du spiral, en choisissant convenablement ses extrémités.

Préliminaires.

Quelque important que soit le régulateur dont il s'agit, sa théorie n'avait pas encore été établie, la forme essentiellement complexe de ce ressort, introduisant dans l'application de la théorie de l'élasticité des équations différentielles tellement compliquées qu'il serait absolument impossible de les intégrer. J'ai pourtant été assez heureux, par des combinaisons particulières, pour vaincre ces difficultés dans tout ce qui touche au problème, et c'est cette théorie qui fait l'objet de ce mémoire. J'y considère la question comme un problème de mécanique dont voici l'énoncé :

« Étant donné un ressort spiral réuni à un balancier, trouver les lois de leur mouvement commun. » Dans la pratique, on a évidemment à tenir compte de détails secondaires, tels que l'influence des huiles, des frottements, etc. Mais néanmoins la solution et les règles qui y seront développées satisfont au problème, absolument comme la théorie du pendule le fait à son application à la mesure des temps. J'ajouterai que j'ai soumis à l'expérience, dans les circonstances les plus diverses, les résultats que j'ai déduits de la théorie, et que toujours l'accord s'est trouvé aussi parfait qu'on pouvait le désirer.

Qu'il s'agisse du spiral plat ou du spiral cylindrique, ses extrémités sont toujours fixées de la même manière

et par des goupilles en coin, l'une à un piton fixe et l'autre soit à une virole, soit à un bras tournant avec le balancier et concentrique avec lui. Ce mode d'attache réalise la condition de l'encastrement, et l'on peut regarder l'extrémité fixe du spiral comme conservant une inclinaison invariable, et l'autre extrémité comme ayant une inclinaison fixe par rapport à celle du cercle de la virole à leur point d'intersection.

La différence de construction entre le spiral plat et le spiral cylindrique est la suivante. Le premier se compose, ainsi que l'indique la *fig.* 1, Pl. I, d'une courbe spirale plane formée d'un certain nombre de spires, généralement de huit à douze, se rapprochant autant que possible de la forme circulaire et tracées autour du cercle de la virole.

Quant au spiral cylindrique (Pl, I, *fig.* 2), ses spires affectent rigoureusement en projection horizontale la forme circulaire dont l'axe du balancier est le centre, et il se termine, en général, par deux courbes adoucies qui se rapprochent du centre à une distance ordinairement égale à environ la moitié du rayon. Ces spires venant se placer les unes au-dessus des autres, la forme rigoureuse du spiral est celle d'une hélice à pas extrêmement court, d'où le nom de spiral cylindrique.

Je prends comme point de départ, ainsi que je l'ai fait dans mon mémoire sur les ressorts de chemins de fer, la théorie de la résistance des solides élastiques, d'après laquelle on admet l'existence d'un axe neutre central, et le changement de courbure des fibres sans glissement relatif des unes par rapport aux autres. De plus, je démontrerai plus loin (voir la note qui est à la fin de ce mémoire) que, dans le problème actuel, la théorie ordinaire de l'axe neutre rentre rigoureusement dans la théorie mathématique de l'élasticité, telle

qu'elle a été établie principalement par Navier, Cauchy et MM. Lamé et Clapeyron.

Problème de l'équilibre du système du spiral et du balancier.

J'entre maintenant dans les détails de la question, et d'abord je commence par résoudre le problème suivant : « Le spiral et le balancier étant dans leur position naturelle et en équilibre, on suppose que l'on fasse décrire au balancier un angle de rotation α. On demande quel est le moment du couple qu'il faudrait appliquer au balancier pour le maintenir dans cette nouvelle position contre l'action du spiral. »

Pour résoudre ce problème, je rapporte le système à deux axes coordonnés rectangulaires, passant par le centre O du balancier (Pl. I, *fig.* 3), et dont l'un, OY, passe aussi par celle des extrémités du spiral qui est fixe.

Si l'on considère, dans la nouvelle position d'équilibre, le balancier et le spiral comme formant un tout solide, ce système doit être en équilibre sous l'action du couple appliqué au balancier et dont le moment, que j'appellerai G, est précisément ce qu'il s'agit de déterminer. De plus, le centre du balancier étant fixe, rien n'empêche de le considérer comme libre, pourvu qu'on applique en ce point O une force égale et contraire à la pression qu'il peut exercer contre les parois du trou. Désignons par Y et X les composantes, suivant OY et OX de la force ainsi appliquée au point O, point que je regarderai alors comme libre.

B étant la position occupée par un point quelconque du spiral dans le nouvel état d'équilibre, j'appelle x et y ses coordonnées; s la longueur du spiral, comprise entre ce point et l'extrémité fixe; L la longueur totale du spiral; M le moment d'élasticité de celui-ci; enfin ρ le rayon de courbure du spiral au point B, dans la nouvelle position d'équilibre, et ρ_0 le rayon de courbure

du même point B dans l'état naturel du spiral quand le moment G est nul.

Dans la nouvelle position d'équilibre, celui-ci ne serait pas troublé si l'on solidifiait toute la partie du spiral comprise entre le point B et l'extrémité engagée dans le balancier, et l'on a alors à considérer l'équilibre d'un corps solide formé de l'ensemble résultant de cette partie du spiral et du balancier, et soumis d'une part au couple G qui agit sur le balancier et aux forces X et Y, et d'autre part aux actions moléculaires exercées sur la section B par la partie non solidifiée du spiral. Si l'on transporte au point B les forces Y et X, ainsi que le couple G, le couple résultant doit faire équilibre à celui qui provient des actions moléculaires développées par la partie non solidifiée du spiral. Or si, pour fixer les idées, nous supposons que l'angle de rotation α soit dans un sens tel que le rayon de courbure ait diminué au point B, le moment de ces actions moléculaires est égal à $\mathrm{M}\left(\frac{1}{\rho}-\frac{1}{\rho_0}\right)$, et nous aurons :

$$(1) \qquad \mathrm{M}\left(\frac{1}{\rho}-\frac{1}{\rho_0}\right)=\mathrm{G}+\mathrm{Y}x-\mathrm{X}y.$$

Cette équation convient à tous les points du spiral.

On peut donc multiplier les deux membres par ds et intégrer dans toute l'étendue du spiral, ce qui donne :

$$(2) \qquad \mathrm{M}\left(\int\frac{ds}{\rho}-\int\frac{ds}{\rho_0}\right)=\mathrm{G}\int ds+\mathrm{Y}\int x\,ds-\mathrm{X}\int y\,ds.$$

Occupons-nous d'abord du second membre.

On a :

$$\int ds=\mathrm{L}$$

et

$$\mathrm{G}\int ds=\mathrm{GL}.$$

Puis si nous appelons x_1 et y_1 les coordonnées du

centre de gravité du spiral, il est évident que

$$\int x\,ds = \mathrm{L}x_1 \quad \text{et} \quad \int y\,ds = \mathrm{L}y_1 ;$$

par suite

$$\mathrm{Y}\int x\,ds = \mathrm{YL}x_1 \quad \text{et} \quad \mathrm{X}\int y\,ds = \mathrm{XL}y_1 .$$

Je passe maintenant au premier membre de l'équation (2). Or on voit que $\frac{ds}{\rho_0}$ est, pour la forme naturelle du spiral, l'angle formé par deux normales consécutives de la courbe et, par conséquent, $\int \frac{ds}{\rho_0}$ n'est autre chose que l'angle compris entre les deux normales extrêmes. De même, $\int \frac{ds}{\rho}$ est l'angle des deux normales extrêmes dans la nouvelle forme du spiral. Mais quand celui-ci passe de la première position à la seconde, la normale relative à l'extrémité fixe reste invariable de direction, à cause de l'encastrement qui a lieu en ce point. D'un autre côté, de ce que l'autre extrémité du spiral s'engage dans la virole du balancier, sous un angle, avec le cercle de la virole, qui reste constant aussi à cause de l'encastrement, il résulte qu'en passant de la position naturelle du spiral à sa nouvelle position d'équilibre, la normale au spiral, à son extrémité correspondante au balancier, tourne d'un angle α.

Il suit de ce qui précède qu'on a simplement :

$$\int \frac{ds}{\rho} - \int \frac{ds}{\rho_0} = \alpha,$$

et l'équation (2) devient :

$$\mathrm{M}\alpha = \mathrm{GL} + \mathrm{L}(\mathrm{Y}x_1 - \mathrm{X}y_1). \tag{3}$$

Calcul de la durée d'une oscillation du balancier.

Admettons, quant à présent, que le terme $\mathrm{L}(\mathrm{Y}x_1 - \mathrm{X}y_1)$, qui se trouve dans le second membre, soit nul ou négligeable. Je traiterai ce point un peu plus loin avec tous les détails qu'il comporte, et j'établirai alors

les conditions nécessaires et suffisantes pour qu'il en soit ainsi. Regardons, par conséquent, ce fait comme admis pour le moment, et alors l'équation (3) se réduit à

$$\mathrm{M}\alpha = \mathrm{GL}$$

ou

$$\mathrm{G} = \frac{\mathrm{M}\alpha}{\mathrm{L}}, \tag{4}$$

expression très-simple qui fait voir que le moment du couple qui tend à faire tourner le balancier est proportionnel à l'angle que celui-ci a décrit à partir de sa position naturelle d'équilibre, et qui donne de plus le moment de ce couple en fonction du moment d'élasticité et de la longueur du ressort spiral.

Dès lors, il devient facile de trouver la durée des oscillations du balancier. En effet, en appelant A le moment d'inertie de celui-ci, par rapport à son axe de rotation, on a à chaque instant, en faisant attention que le couple G agit comme couple résistant :

$$\mathrm{A}\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -\mathrm{G}$$

ou, à cause de (4) :

$$\mathrm{A}\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -\frac{\mathrm{M}\alpha}{\mathrm{L}}. \tag{5}$$

Je désigne par α_0 l'angle d'écartement du balancier qui répond à la limite de l'oscillation, alors que sa vitesse est nulle, et l'on a, en multipliant les deux membres de (5) par $2d\alpha$ et intégrant :

$$\mathrm{A}\frac{d\alpha^2}{dt^2} = \frac{\mathrm{M}}{\mathrm{L}}(\alpha_0^2 - \alpha^2). \tag{6}$$

Cette expression fait voir que la vitesse angulaire du balancier, soit $\frac{d\alpha}{dt}$, est nulle indéfiniment lorsque $\alpha = \alpha_0$ ou que $\alpha = -\alpha_0$, de sorte que, si ce n'étaient

les diverses résistances passives, le balancier oscillerait toujours en s'écartant également de part et d'autre de sa position d'équilibre.

On tire de l'équation (6) :

$$dt = \sqrt{\frac{AL}{M}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\alpha_0^2 - \alpha^2}}. \tag{7}$$

Il s'agit maintenant d'intégrer cette équation depuis $\alpha = -\alpha_0$ jusqu'à $\alpha = \alpha_0$.

Or

$$\int \frac{d\alpha}{\sqrt{\alpha_0^2 - \alpha^2}} = \int \frac{d\frac{\alpha}{\alpha_0}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\alpha}{\alpha_0}\right)^2}} = \text{arc sin} . \frac{\alpha}{\alpha_0} + \text{constante}.$$

Donc

$$\int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} \frac{d\alpha}{\sqrt{\alpha_0^2 - \alpha^2}} = \pi,$$

et, par suite, en désignant par T le temps d'une oscillation, l'équation (7) donne :

$$T = \pi \sqrt{\frac{AL}{M}}, \tag{8}$$

relation fort simple qui donne la durée des oscillations.

Elles se trouvent isochrones, quelle que soit leur amplitude. L'expression précédente (8) est tout à fait analogue à celle qui donne le temps des petites oscillations du pendule. On voit que la longueur l du pendule simple qui ferait ses oscillations dans le même temps que le balancier serait exprimée par la formule

$$l = L \frac{Ag}{M}. \tag{9}$$

Conditions relatives à l'isochronisme.

Je donnerai plus loin (chap. II) des exemples qui montreront l'accord complet de la formule (8) avec l'expérience.

Mais auparavant, je reprends l'équation (5), dans laquelle j'ai négligé la partie $L(Yx_1 - Xy_1)$, et je vais examiner à quelles conditions on peut effectivement ne pas tenir compte de ce terme, d'où dépendent définitivement l'isochronisme des oscillations et l'exactitude de la formule (8).

En premier lieu, ce terme serait toujours nul si l'on avait constamment x_1 et y_1 égaux à zéro, c'est-à-dire si le centre de gravité du spiral restait toujours sur l'axe du balancier. De là résulte de suite la convenance de donner aux spires une forme sensiblement circulaire et concentrique à l'axe, de façon que le centre de gravité général soit sur cet axe et qu'il s'en écarte aussi peu que possible dans le mouvement.

Deuxièmement, le terme $L(Yx_1 - Xy_1)$ s'évanouirait encore si les composantes X et Y étaient nulles, et par conséquent si la pression exercée par l'axe du balancier était toujours nulle, ou encore si cette pression passait constamment par le centre de gravité du spiral. En fait, dans la pratique, cette pression est toujours sensiblement nulle dans les appareils bien faits, puisqu'alors, pourvu que l'huile n'ait pas manqué, on ne remarque aucune usure contre les parois du trou de l'axe, même après de nombreuses années de marche. Mais, néanmoins, je vais examiner, avec tous les développements que le sujet comporte, les conditions moyennant lesquelles on peut, rigoureusement et mathématiquement, atteindre ce but. On verra, comme conséquence de cette analyse, que si, pour le spiral plat, on ne peut y parvenir que pour de faibles oscillations du balancier, au contraire, pour le spiral cylindrique, on obtient ce résultat pour les plus grandes comme pour les plus petites vibrations, moyennant des formes particulières données par la théorie pour les

courbes extrêmes du spiral et une longueur totale de celui-ci, qui ne doit être ni trop grande ni surtout trop petite.

Je remarque, à cet effet, que quand X et Y sont nuls ou tout à fait négligeables, l'équation (1) donne :

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{G}{M},$$

ou, à cause de (4),

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{\alpha}{L}. \tag{10}$$

Il suit de là qu'alors le chargement de courbure est uniforme. Ainsi, si ρ_0 est constant, il en est de même de ρ; c'est-à-dire que si les spires ont la forme de circonférences de cercle dans leur état naturel, elles affecteront encore, dans leurs déformations, celle de circonférences de cercle, mais d'un rayon différent; si, comme dans le spiral plat, elles ont, dans leur état naturel, des formes très-voisines de circonférences de cercle, il en sera de même pendant le mouvement, sauf que les rayons changeront. Quand, comme dans le spiral cylindrique, les spires ont sensiblement la forme de circonférences de même rayon, venant se placer les unes au-dessus des autres, la formule (10) indique qu'alors, dans les déformations, les spires se transforment en circonférences d'un rayon unique différent du premier, et qu'elles restent exactement les unes au-dessus des autres, ce qui est encore conforme à l'expérience.

Réciproquement à ce qui précède, si l'on avait continuellement, pour tous les points du spiral, $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{\alpha}{L}$, c'est-à-dire la différence $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}$ constante, l'équation (1) montre qu'on aurait alors forcément

$Y = 0$ et $X = 0$ et que, par suite, l'équation (4) aurait lieu avec ses conséquences. Je vais donc maintenant examiner dans quelles circonstances et sous quelles conditions on peut regarder la différence $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}$ comme constante dans toute l'étendue du spiral.

Supposons d'abord que les spires soient des cercles égaux et concentriques, comme dans le spiral cylindrique. Soit ABC (Pl. I, *fig.* 4) la courbe qui commence le spiral, A étant le bout fixe et C le point de jonction et de tangence de cette courbe avec la première spire. A l'autre extrémité du spiral, celui-ci se termine par une courbe symétrique et égale dont l'extrémité A′ correspondante à A est encastrée dans la virole du balancier. Or le problème est celui-ci : Chercher si l'on peut, pour toutes les valeurs entre lesquelles varie l'angle α, déformer le spiral d'après la loi $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{\alpha}{L}$, de telle façon que les conditions relatives à ses extrémités soient toujours satisfaites, c'est-à-dire qu'au point A, ce point et sa tangente soient invariables et qu'en même temps, à l'extrémité opposée A′, celle-ci aboutisse toujours au cercle de la virole et vienne le rencontrer sous un angle constant et donné.

Je donnerai tout à l'heure le moyen de satisfaire complétement à cette condition pour le spiral cylindrique par certaines formes de courbes extrêmes; mais dès à présent on peut reconnaître que, quelle que soit la forme des courbes extrêmes, il s'en faut de très-peu qu'elle soit remplie. En effet, dans la déformation générale, le point C se déplace très-peu, ainsi que la normale CO, sur laquelle se trouve le centre de la première conférence, lequel ne s'écarte que faiblement de sa position initiale O, et comme toutes les spires

affectent en se déformant la forme de cercles égaux et concentriques, le point C′, où la courbe extrême C′B′A′ se détache des spires, sera peu éloigné d'être sur la circonférence primitive des spires, et la forme de C′B′A′ ayant elle-même très-peu varié par la déformation, l'extrémité A′ devra être voisine du cercle de la virole, et celle-ci sera coupée par C′B′A′, au point A′, suivant un angle peu différent de celui donné. Un raisonnement tout à fait semblable peut être fait pour le spiral plat. On est donc fondé à conclure de là que dans les cas généraux de la pratique, la pression dont les composantes sont X et Y est relativement très-faible, et comme les coordonnées du centre de gravité le sont ordinairement aussi, il en résulte que le moment $Yx_1 - Xy_1$ de l'équation (5) est négligeable devant G; que, par conséquent, l'isochronisme est, sinon parfait, au moins très-approché, et que la durée des oscillations est exprimée par la formule (8).

Le raisonnement précédent se trouve parfaitement d'accord avec l'expérience qui, dans les cas généraux dont je parle, montre d'une part les spires conservant la forme circulaire et à peu près concentrique, et d'autre part les oscillations ayant une durée sensiblement indépendante de leur amplitude. Je vais néanmoins, ainsi que je l'ai annoncé, résoudre rigoureusement le problème pour le spiral cylindrique.

Détermination des courbes extrêmes.

Pour cela j'observe que si le spiral dont il s'agit était construit de telle sorte que, en le déformant d'après la loi $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{\alpha}{L}$, pour toutes les valeurs exigées de α, le centre des spires circulaires restât dans une position invariable, la question serait résolue.

En effet (Pl. I, *fig.* 4), les courbes extrêmes ABC, A′B′C′ resteraient toujours égales et symétriques après

la déformation. Or le point A est sur la circonférence de la virole dont le centre est en O; mais puisque nous admettons que le centre des spires ne s'est pas déplacé, il arrivera que, par le fait seul de la déformation exprimée par $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{\alpha}{L}$, le point A′ supposé libre aboutira précisément sur la circonférence de la virole. Par une raison tout à fait semblable, la tangente au point A′ à la courbe A′B′C′ rencontrera le cercle de la virole sous le même angle que la tangente en A à ABC rencontre cette virole au point A, et comme ce dernier angle est constant et donné à cause de l'encastrement, il en sera de même de celui qui a lieu en A′. Or en supposant maintenant le point A′, au lieu d'être libre, fixé dans la virole et encastré dans celle-ci suivant l'angle donné, rien ne sera changé, et la loi de la déformation sera exprimée par la formule $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{\alpha}{L}$.

Je vais donc m'occuper maintenant de la détermination de la courbe extrême ABC ou de sa symétrique A′B′C′, d'après la condition que, pour toutes les valeurs les plus étendues de α dans un sens ou dans l'autre, le centre des spires reste dans une position invariable, la déformation ayant lieu d'après la loi $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{\alpha}{L}$.

J'observe de suite que, dans les limites les plus extrêmes de la pratique, α varie entre trois quarts de tour de chaque côté.

Soient OX et OY (Pl. I, *fig.* 5) deux axes coordonnés rectangulaires menés par le centre O primitif des spires, qui est l'axe du balancier. L'axe OY est conduit par le bout fixe A de la courbe ABC, de manière que ce point A soit sur la partie négative de cet axe.

Soit BI $= r$ le rayon de courbure qui a lieu au

point B pendant la déformation et soit r_0 celui du même point avant la déformation. Au point D, infiniment voisin, le rayon de courbure est $BK = r + dr$, et l'on a $dr = IK$.

Formons le triangle rectangle IKN, dont les côtés sont parallèles aux axes coordonnés. Il est clair que si ξ et η sont les coordonnées du centre de courbure I, on a :

(11) $$IN = -d\xi$$

et

(12) $$KN = d\eta.$$

D'ailleurs la déformation a lieu suivant la loi

(13) $$\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} = \frac{\alpha}{L},$$

d'où l'on tire :

(14) $$r = \frac{r_0}{1 + \frac{\alpha}{L} r_0}.$$

Maintenant j'appelle θ l'angle IKN formé par le rayon de courbure KB avec la partie négative de l'axe des y. En désignant par θ_0 l'angle correspondant au même point B avant la déformation, on trouve une relation très-simple entre θ et θ_0. En effet, en multipliant les deux membres de (13) par ds, et intégrant depuis le point A jusqu'au point B, on a

$$\int \frac{ds}{r} = \int \frac{ds}{r_0} + \frac{\alpha s}{L};$$

mais

$$\int \frac{ds}{r} - \int \frac{ds}{r_0} = \theta - \theta_0;$$

donc

(15) $$\theta = \theta_0 + \frac{\alpha s}{L},$$

formule très-simple qui indique la manière dont varie l'inclinaison de la normale ou de la tangente pendant la déformation.

Dans le triangle IKN, on a IN ou

$$-d\xi = IK \sin . IKN,$$

ou

$$d\xi = -dr \sin \theta;$$

ou encore, à cause de (14) et (15), on a

(16) $$d\xi = -\sin\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) d . \left(\frac{r_0}{1 + \frac{\alpha}{L} r_0}\right).$$

Le même triangle IKN, donne

(17) $$d\eta = \cos\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) d . \left(\frac{r_0}{1 + \frac{\alpha}{L} r_0}\right).$$

Affectons d'un accent ′ les quantités qui se rapportent spécialement à l'extrémité A de la courbe ABC et de deux accents ″ celles qui se rapportent à l'autre extrémité C de la même courbe. Soit, de plus δ la longueur absolue OA. Les coordonnées ξ' et η' du centre de courbure au point A pendant la déformation auront pour valeur (en observant que la normale en A a une direction invariable),

$$\xi' = -r' \sin \theta'_0 = -\frac{r'_0}{1 + \frac{\alpha}{L} r'_0} \sin \theta'_0.$$

$$\eta' = -\delta + r' \cos \theta'_0 = -\delta + \frac{r'_0}{1 + \frac{\alpha}{L} r'_0} \cos \theta'_0.$$

En conséquence, on tire des formules (16) et (17) pour les coordonnées ξ'' et η'' du centre de courbure de la courbe ABC, au point C, pendant la déformation

$$(18)\quad \xi''=-\frac{r'_0}{1+\frac{\alpha}{L}r'_0}\sin\theta'_0-\int\sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)d.\left(\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\right).$$

$$(19)\quad \eta''=-\delta+\frac{r'_0}{1+\frac{\alpha}{L}r'_0}\cos\theta'_0+$$
$$+\int\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)d.\left(\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\right),$$

les intégrales étant prises dans toute l'étendue de la courbe ABC.

Comme le rayon de courbure de la courbe ABC au point C sera généralement différent du rayon des spires, le centre de celles-ci ne coïncidera pas avec le centre de courbure de la courbe au point C, et l'on passera de celui-ci au centre des spires par un triangle rectangle de dimensions finies, analogue au triangle infiniment petit IKN. Donc, en appelant ξ''' et η''' les coordonnées du centre des spires déformées, on aura

$$\xi'''=\xi''-(\rho-r'')\sin\theta''$$

et

$$\eta'''=\eta''+(\rho-r'')\cos\theta'',$$

ρ étant ce que devient, pendant la déformation, le rayon initial ρ_0 des spires.

Donc, à cause de (14) et (15), on a, en appelant l la longueur développée de la courbe ABC,

$$\xi'''=\xi''+\frac{r''_0}{1+\frac{\alpha}{L}r''_0}\sin\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right)-$$
$$-\frac{\rho_0}{1+\frac{\alpha}{L}\rho_0}\sin\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right),$$

et

$$\eta'''=\eta''-\frac{r''_0}{1+\frac{\alpha}{L}r''_0}\cos\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right)+$$
$$+\frac{\rho_0}{1+\frac{\alpha}{L}\rho_0}\cos\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right).$$

En remplaçant, dans ces formules ξ'' et η'' par leurs valeurs (18) et (19), on obtient pour les coordonnées ξ''' et η'' du centre des spires déformées,

$$(20)\quad \begin{cases} \xi'''=-\dfrac{r'_0}{1+\frac{\alpha}{L}r'_0}\sin\theta'_0+\dfrac{r''_0}{1+\frac{\alpha}{L}r''_0}\sin\left(\theta''_0+\dfrac{\alpha l}{L}\right)- \\ -\dfrac{\rho_0}{1+\frac{\alpha}{L}\rho_0}\sin\left(\theta''+\dfrac{\alpha l}{L}\right)-\int\sin\left(\theta_0+\dfrac{\alpha s}{L}\right)d.\left(\dfrac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\right). \end{cases}$$

$$(21)\quad \begin{cases} \eta'''=-\delta+\dfrac{r'_0}{1+\frac{\alpha}{L}r'_0}\cos\theta'_0-\dfrac{r''_0}{1+\frac{\alpha}{L}r''_0}\cos\left(\theta''_0+\dfrac{\alpha l}{L}\right)+ \\ +\dfrac{\rho_0}{1+\frac{\alpha}{L}\rho_0}\cos\left(\theta''_0+\dfrac{\alpha l}{L}\right)+\int\cos\left(\theta_0+\dfrac{\alpha s}{L}\right)d.\left(\dfrac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\right). \end{cases}$$

Ces formules peuvent être très-simplifiées de la manière suivante : en intégrant par parties, on a

$$\int\sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)d.\left(\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\right)=\left[\sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\right]''-$$
$$-\int\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}d.\sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right).$$

La parenthèse $[\ ]''$ indique qu'il faut prendre sa valeur au point C et en retrancher sa valeur au point A.

Elle est donc égale à

$$\frac{r''_0}{1+\frac{\alpha}{L}r''_0}\sin\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right)-\frac{r'_0}{1+\frac{\alpha}{L}r'_0}\sin\theta'_0.$$

D'un autre côté

$$d.\sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)=\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)\times\left(1+\frac{\alpha}{L}\frac{ds}{d\theta_0}\right)d\theta_0=$$

$$=\left(1+\frac{\alpha}{L}r_0\right)\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)d\theta_0,$$

puisque

$$\frac{ds}{d\theta_0}=r_0.$$

Donc

$$\int\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}d.\sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)=\int r_0\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)d\theta_0=$$

$$=\int_0^l\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)ds$$

et, par suite,

$$\int\sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)d.\left(\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\right)=\frac{r''_0}{1+\frac{\alpha}{L}r''_0}\sin\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right)-$$

$$-\frac{r'_0}{1+\frac{\alpha}{L}r'_0}\sin\theta'_0-\int_0^l\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)ds,$$

Enfin, en substituant dans la relation (20), celle-ci devient simplement

$$(22)\qquad \xi'''=-\frac{\rho_0}{1+\frac{\alpha}{L}\rho_0}\sin\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right)+\int_0^l\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)ds.$$

On transforme de même la formule (21),

Ainsi

$$\int\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)d.\left(\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\right)=\left[\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\right]''-$$

$$-\int\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}d.\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right).$$

Mais

$$\left[\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\right]''=\frac{r''_0}{1+\frac{\alpha}{L}r''_0}\cos\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right)-$$

$$-\frac{r'_0}{1+\frac{\alpha}{L}r'_0}\cos\theta'_0$$

et

$$-\int\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}d.\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)=\int_0^l\sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)ds.$$

Donc

$$\int\cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)d.\left(\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\right)=\frac{r''_0}{1+\frac{\alpha}{L}r''_0}\cos\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right)-$$

$$-\frac{r'_0}{1+\frac{\alpha}{L}r'_0}\cos\theta'_0+\int_0^l\sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)ds.$$

et par suite, en substituant dans (21), on a simplement :

$$(23)\qquad \eta'''=-\delta+\frac{\rho_0}{1+\frac{\alpha}{L}\rho_0}\cos\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right)+$$

$$+\int_0^l\sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)ds.$$

Pour que le centre des spires reste invariable, il faut que ξ''' et η''' soient nulles pour toutes les valeurs de α comprises entre les limites des oscillations. Il faut donc que les courbes extrêmes soient construites de telle façon que l'on ait (à cause de (22) et (23)) pour toutes les valeurs de α dont il s'agit :

$$(24)\qquad \int_0^l \cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)ds=\frac{\rho_0}{1+\frac{\alpha}{L}\rho_0}\sin\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right)$$

et

$$(25)\qquad \int_0^l \sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)ds=\delta-\frac{\rho_0}{1+\frac{\alpha}{L}\rho_0}\cos\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right).$$

Il est facile de reconnaître que la forme circulaire ne convient pas pour les courbes extrêmes. En effet, pour le cercle, on a :

$$\theta_0=\frac{1}{r_0}s$$

r_0 étant la valeur du rayon. On a donc alors :

$$\int_0^l \cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)ds=\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\sin\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right)$$

et

$$\int_0^l \sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right)ds=\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}-\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}\cos\left(\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\right).$$

Or ces deux relations montrent que l'on vérifie la condition (24) en faisant $r_0=\rho_0$; mais qu'il serait impossible de satisfaire à la relation (25), puisque δ est constant et que $\frac{r_0}{1+\frac{\alpha}{L}r_0}$ varie avec α.

Ainsi, dans beaucoup d'anciens chronomètres, où les courbes extrêmes n'étaient autres qu'une portion de spires circulaires, cette disposition était vicieuse sous ce rapport, et on y a généralement, en effet, renoncé. Les raisonnements précédents supposent, il est vrai, que le centre de ce cercle soit sur YY', puisque j'ai fait $\theta_0=\frac{1}{r_0}s$; mais on pourrait tout aussi bien le regarder comme placé d'une manière quelconque, en faisant $\theta_0=\frac{1}{r_0}s+\theta'_0$, et l'on arriverait encore à la même conclusion.

Je vois maintenant chercher la forme des courbes extrêmes qui satisfont aux conditions (24) et (25). J'observe d'abord que les arcs $\frac{\alpha s}{L}$ et $\frac{\alpha l}{L}$ sont toujours assez petits pour qu'on puisse remplacer leur sinus par l'arc et leur cosinus par l'unité.

Par une raison semblable, on peut remplacer $\frac{1}{1+\frac{\alpha\rho_0}{L}}$ par $1-\frac{\alpha\rho_0}{L}$. De cette façon, les conditions (24) et (25) deviennent respectivement

$$(26)\qquad \int_0^l\left(\cos\theta_0-\frac{\alpha s}{L}\sin\theta_0\right)ds=\rho_0\left(1-\frac{\alpha\rho_0}{L}\right)\left(\sin\theta''_0+\frac{\alpha l}{L}\cos\theta''_0\right)$$

et

$$(27)\qquad \int_0^l\left(\sin\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\cos\theta_0\right)ds=\delta-\rho_0\left(1-\frac{\alpha\rho_0}{L}\right)\left(\cos\theta''_0-\frac{\alpha l}{L}\sin\theta''_0\right).$$

Pour satisfaire aux relations (26) et (27), je négligerai les termes en α^2 qui sont infiniment petits du second ordre, et pour chacune de ces deux relations, j'annulerai séparément la partie indépendante de α,

puis celle qui est multipliée par la première puissance de x.

On obtient ainsi les quatre conditions suivantes :

$$\int_0^l \cos\theta_0 ds = \rho_0 \sin\theta''_0. \tag{28}$$

$$\int_0^l \sin\theta_0 ds = \delta - \rho_0 \cos\theta''_0. \tag{29}$$

$$-\int_0^l s.\sin\theta_0 ds = -\rho_0^2 \sin\theta''_0 + \rho_0 l \cos\theta''_0. \tag{30}$$

$$\int_0^l s.\cos\theta_0 ds = \rho_0^2 \cos\theta''_0 + \rho_0 l \sin\theta''_0. \tag{31}$$

Les deux conditions (28) et (29) expriment que dans la position naturelle des spires, leur centre doit se trouver sur l'axe du balancier, condition évidente *a priori*.

En effet, en appelant x et y les coordonnées d'un point quelconque de la courbe extrême, dans sa position naturelle, on a :

$$ds\cos\theta_0 = dx \quad \text{et} \quad ds\sin\theta_0 = dy.$$

Par conséquent, en admettant que le centre O primitif des spires (*fig.* 5), soit le centre du balancier, on a :

$$\int_0^l \cos\theta_0\, ds = \int dx = \rho_0 \sin\theta''_0$$

et

$$\int_0^l \sin\theta_0 ds = \int dy = \delta - \rho_0 \cos\theta''_0,$$

c'est-à-dire que les conditions (28) et (29) sont satisfaites. Passons maintenant aux deux autres (30) et (31). Or on a, en intégrant par parties :

$$\int s.\sin\theta_0 ds = \int s dy = sy - \int y ds$$

et

$$\int s.\cos\theta_0 ds = \int s dx = sx - \int x ds.$$

Prenons maintenant les intégrales définies, et, en observant que si x_1 et y_1 sont les coordonnées du centre de gravité de la courbe ABC non déformée, on a :

$$\int_0^l y ds = l y_1 \quad \text{et} \quad \int_0^l x ds = l x_1,$$

nous aurons :

$$\int_0^l s.\sin\theta_0 ds = -\rho_0 l \cos\theta''_0 - l y_1$$

et

$$\int_0^l s.\cos\theta_0 ds = \rho_0 l \sin\theta''_0 - l x_1.$$

Enfin, substituant dans (30) et (31) et faisant les réductions, on obtient :

$$l y_1 = -\rho_0^2 \sin\theta''_0$$

et

$$-l x_1 = \rho_0^2 \cos\theta''_0,$$

ou bien :

$$y_1 = -\frac{\rho_0^2}{l} \sin\theta''_0, \tag{32}$$

$$x_1 = -\frac{\rho_0^2}{l} \cos\theta''_0, \tag{33}$$

conditions auxquelles doit satisfaire le centre de gravité de la courbe extrême. Celles-ci, quoique fort simples, peuvent être mises sous une forme plus palpable, plus facile à énoncer et qui permet de trouver très-aisément les courbes extrêmes qui les vérifient.

Imaginons, à cet effet, que la courbe ABC (Pl. I, *fig.* 5) soit telle qu'elle est naturellement avant toute déformation et que G soit son centre de gravité. En divisant (32) par (33), membre à membre, on a

$$tg.\mathrm{GOX} = tg.\theta''_0.$$

Mais l'angle

$$\theta''_0 = 180° + \mathrm{COY}.$$

Donc

$$tg.\mathrm{GOX} = tg.\mathrm{COY}$$

et

$$\mathrm{GOX} = \mathrm{COY}. \tag{34}$$

Par conséquent, comme OX est perpendiculaire à OY, on voit déjà qu'il faut que OG soit perpendiculaire à OC.

En second lieu, si l'on élève au quarré les deux membres de (32) et (33), puis qu'on ajoute, on obtient

$$\overline{\mathrm{OG}}^2 = \left(\frac{\rho_o^2}{l}\right)^2,$$

ou

$$\mathrm{OG} = \frac{\rho_o^2}{l}. \tag{35}$$

On peut donc énoncer très-simplement, de la manière suivante, les deux conditions auxquelles doit satisfaire en construction la courbe extrême ABC :

1° Son centre de gravité doit se trouver sur la perpendiculaire menée par le centre des spires au rayon extrême de cette courbe, là où elle se réunit aux spires;

2° La distance de ce centre de gravité au centre des spires doit être égale à $\frac{\rho_o^2}{l}$, c'est-à-dire à une troisième proportionnelle à la longueur de la courbe et au rayon des spires.

Je donnerai plus loin de nombreux exemples de courbes extrêmes satisfaisant à cette condition et au sujet desquelles l'expérience est venue, ainsi qu'on le verra, confirmer pleinement les déductions théoriques. Quant à présent, je me borne à faire remarquer que, d'après la loi indiquée, le point de départ A de la courbe étant, ainsi que cela se pratique ordinairement,

à environ la moitié du rayon, le point C sera généralement plus facile à placer dans le troisième quadrant YOX', que dans toute autre partie de la circonférence et l'observation a conduit généralement à faire parcourir en effet à la courbe ABC un angle de 180° à 270° autour du point O.

Il est à remarquer que la forme des courbes extrêmes est complétement indépendante des dimensions transversales de la lame et même de la longueur totale du spiral. Il suffit que celle-ci soit assez grande pour qu'on puisse négliger les puissances de $\frac{\alpha s}{\mathrm{L}}$ et de $\frac{\alpha \rho_0}{\mathrm{L}}$ supérieures à la première.

Conditions relatives au centre de gravité du spiral.

En remontant plus haut, j'ai fait voir qu'il était avantageux que le centre de gravité de tout le spiral fût, au moins en construction, placé sur l'axe du balancier. Or je vais établir que non-seulement cette condition n'est pas incompatible avec celle d'où découle la forme des courbes extrêmes, mais qu'elle en est au contraire une conséquence directe, de sorte que, à cause de cette forme même, le terme que j'ai négligé dans le second membre de l'équation (3) devient, s'il est permis de s'exprimer ainsi, un infiniment petit du second ordre : d'une part parce que les composantes Y et X sont infiniment petites et ensuite, parce qu'il en est de même des coordonnées du centre de gravité général du spiral.

En effet, soit ABC (Pl. I, *fig.* 6) la courbe extrême dont le bout A est fixe et soit A'B'C' l'autre courbe extrême dont le bout A' est engagé dans la virole du balancier.

La figure suppose les choses dans l'état où elles sont avant toute déformation. Soit $\mathrm{COC}' = 6$, 6 étant un angle quelconque.

On peut regarder le spiral comme formé de deux parties distinctes : la première, composée d'un nombre entier de spires circulaires commençant et finissant au point C et dont le centre de gravité est en O ; la seconde, comprenant les deux courbes extrêmes et l'arc CDC′. Cherchons le centre de gravité de cette seconde partie.

Or, si G et G′ sont les centres de gravité respectifs des deux courbes extrêmes, lesquelles sont, comme on sait, égales et symétriques, le centre de gravité de leur ensemble se trouve au point H milieu de GG′. De plus, comme les angles COG, C′OG′ sont droits, la ligne OH, bissectrice de GOG′, prolongée jusqu'en D, est aussi la bissectrice de COC′ et passe, par conséquent, par le centre de gravité K, de l'arc CDC′. De plus, l'angle OGH est égal à COK ou à $\frac{1}{2}\theta$.

Appelons maintenant m le moment du poids des deux courbes extrêmes par rapport au point O et m' celui de l'arc CDC′ par rapport au même point. On a

$$m = 2l \times \mathrm{OH} = 2l \times \mathrm{OG} \sin \frac{1}{2}\theta,$$

ou, à cause de (35),

$$m = 2\rho_0^2 \sin \frac{1}{2}\theta. \tag{36}$$

D'un autre côté, en vertu de la loi qui donne le centre de gravité d'un arc de cercle, on a

$$m' = \rho_0 \times \text{corde CC}',$$

ou

$$m' = 2\rho_0^2 \sin \frac{1}{2}\theta, \tag{37}$$

et il résulte de (36) et (37) que

$$m = m'$$

et, par conséquent, que le centre de gravité de l'ensemble des deux courbes extrêmes et de l'arc CDC′ est au point O, et, par suite, qu'il en est de même du centre de gravité de tout le spiral. Il est à remarquer que cette conséquence est indépendante de la grandeur de l'angle θ ou de l'intervalle qui sépare les points C et C′.

Ainsi, grâces à la construction des courbes extrêmes, le centre de gravité du spiral non déformé se trouve sur l'axe du balancier. Mais, ce n'est pas tout et l'on peut démontrer, ainsi qu'il suit, que cette coïncidence du centre de gravité du spiral entier avec le centre des spires est une conséquence forcée de l'invariabilité de ce dernier centre et qu'elle a lieu, quel que soit l'angle de rotation du balancier.

En effet, soit α (Pl. I, *fig.* 7) l'angle dont le balancier a tourné. Celle des deux courbes extrêmes dont un bout, A, est fixe, a pris la position ABC. L'autre a acquis la même forme, mais retournée, et partirait, par exemple, du point C′.

Faisons $\mathrm{COC}' = \theta'$. Menons X″OX′ comme bissectrice de cet angle. Prenons cette droite comme axe des x' et une perpendiculaire OY′ comme axe des y'.

Le spiral total se compose toujours d'un nombre entier de spires circulaires commençant et finissant au point C et dont le centre de gravité est en O ; puis d'une seconde partie qui comprend l'arc de cercle CX″C′ et les deux courbes extrêmes. Il reste à faire voir que le centre de gravité de cette seconde partie est lui-même au point O, quel que soit l'angle α.

Or le centre de gravité de l'arc de cercle CX″C′ est sur OX″.

Il en est de même de celui de l'ensemble des deux courbes extrêmes, puisqu'elles sont symétriques par rapport à cette droite. Il suffit donc de démontrer que

les moments des poids, par rapport à Y'OY'', sont égaux de part et d'autre, ou, en prenant les moitiés, que le moment du poids de CX'' et celui de ABC, par rapport à Y'Y'', sont égaux.

Or pour CX'', si l'on désigne par m ce moment et par ρ le rayon des spires déformées, on a :

$$m = \rho^2 \sin \frac{1}{2} 6'. \tag{38}$$

Soit m' le moment de ABC. Les x' positifs étant daus le sens OX', on a :

$$m' = \int_0^l x' ds \tag{39}$$

En intégrant par parties, il vient :

$$\int_0^l x' ds = -\rho l \cos \frac{1}{2} 6' - \int_0^l s \cos 0' ds, \tag{40}$$

car $dx' = ds$. Cos 0', en appelant 0' l'angle formé avec OY'' par la normale en un point quelconque de la courbe ABC.

Mais :

$$0' = 0 + \text{AOY}'' = 0_0 + \frac{\alpha s}{L} + \text{YOY}'.$$

D'ailleurs

$$\text{YOY}' = \text{X}''\text{OY}' - \text{YOC} - \text{COX}'' =$$

$$= \frac{\pi}{2} - \left(0''_0 + \frac{\alpha l}{L} - \pi\right) - \frac{1}{2} 6' = \frac{3}{2}\pi - 0''_0 - \frac{\alpha l}{L} - \frac{1}{2} 6'.$$

Donc

$$0' = \frac{3}{2}\pi + 0_0 + \frac{\alpha s}{L} - 0''_0 - \frac{\alpha l}{L} - \frac{1}{2} 6'$$

et

$$\cos 0' = \sin\left(0_0 + \frac{\alpha s}{L} - 0''_0 - \frac{\alpha l}{L} - \frac{1}{2} 6'\right).$$

Par conséquent, (40) donne :

$$\left\{ \begin{aligned} \int_0^l x' ds = &-\rho l \cos \frac{1}{2} 6' - \cos\left(0''_0 + \frac{\alpha l}{L} + \frac{1}{2} 6'\right) \int_0^l s \sin\left(0_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds + \\ &+ \sin\left(0''_0 + \frac{\alpha l}{L} + \frac{1}{2} 6'\right) \int_0^l s \cos\left(0_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds. \end{aligned} \right. \tag{41}$$

Maintenant, de ce que le centre des spires est supposé invariable pour toutes les valeurs de α, on peut différentier, par rapport à α, les deux équations (24) et (25).

On a de cette façon :

$$\left\{ \begin{aligned} \int_0^l s \sin\left(0_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds = &-\frac{\rho_0 l}{1 + \frac{\alpha \rho_0}{L}} \cos\left(0''_0 + \frac{\alpha l}{L}\right) + \\ &+ \frac{\rho_0^2}{\left(1 + \frac{a\rho_0}{L}\right)^2} \sin\left(0''_0 + \frac{\alpha l}{L}\right) \end{aligned} \right. \tag{42}$$

et

$$\left\{ \begin{aligned} \int_0^l s \cos\left(0_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds = &\frac{\rho_0 l}{1 + \frac{\alpha \rho_0}{L}} \sin\left(0''_0 + \frac{\alpha l}{L}\right) + \\ &+ \frac{\rho_0^2}{\left(1 + \frac{\alpha \rho_0}{L}\right)^2} \cos\left(0''_0 + \frac{\alpha l}{L}\right). \end{aligned} \right. \tag{43}$$

Substituant dans (41) aux intégrales (42) et (43) les valeurs des seconds membres et remplaçant aussi dans (41) ρ par $\frac{\rho_0}{1 + \frac{\alpha \rho_0}{L}}$, on a, après quelques réductions très-simples :

$$\int_0^l x' ds \quad \text{ou} \quad m' = \frac{\rho_0^2}{\left(1 + \frac{\alpha \rho_0}{L}\right)^2} \sin \frac{1}{2} 6', \tag{44}$$

et en comparant à (38), on voit que :

$$m = m'$$

puisque

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \frac{\alpha\rho_0}{L}},$$

ce qui démontre le fait énoncé.

Ainsi les courbes terminales indiquées par la théorie concourent à l'isochronisme, en satisfaisant aux deux conditions d'annuler toute pression contre l'axe du balancier et de placer le centre de gravité du spiral entier sur cet axe, et cela, comme il est important de le remarquer, quelle que soit la position relative des deux courbes extrêmes, l'une au-dessus de l'autre.

[Influence] de ces courbes sur certaines perturbations.

Mais il y a plus encore. Elles ont aussi la propriété de faire disparaître certaines perturbations nuisibles pour l'isochronisme ou pour sa conservation. Ainsi elles réalisent le spiral libre, c'est-à-dire celui dans lequel l'axe du balancier, n'éprouvant aucune pression, est soustrait, autant que possible, au frottement et aux variations de celui-ci, résultant de l'épaississement des huiles.

De plus, le spiral s'ouvrant et se fermant toujours bien concentriquement à l'axe, on évite sensiblement par là la perturbation introduite par l'inertie du spiral.

Toutes les propriétés précédentes, dues à ces courbes, subsistant, quel que soit l'espace angulaire qui sépare en construction les deux courbes terminales d'un même spiral, on possède dans cet angle, ou, ce qui revient au même, dans la longueur totale du spiral, un élément dont on peut disposer pour obtenir les dernières limites d'isochronisme pratique, en tenant compte des influences secondaires, qu'il était impossible de faire entrer dans les calculs, comme les huiles, les frottements, etc. Cet élément est, du reste, précisément celui dont on dispose ordinairement, et d'après la règle de Pierre Leroy, pour arriver à l'isochronisme.

Méthode pour trouver géographiquement les courbes extrêmes.

Je vais maintenant expliquer la manière de trouver graphiquement, par un procédé simple, les courbes extrêmes qui conviennent à chaque cas.

Je suppose qu'on se donne la position du point A fixée par la quantité δ et l'angle $0''_0$ qui détermine le point C (Pl. I, fig. 8).

On mène le rayon extrême OC et le rayon perpendiculaire OD sur lequel doit se trouver le centre de gravité G de la courbe cherchée ABC.

Le dessin étant supposé à une échelle suffisamment grande (la plus commode m'a paru être de vingt à trente fois la grandeur réelle), on cherchera d'abord à obtenir une courbe dont le centre de gravité soit sur OD.

A cet effet, on tracera une première courbure ABC de sentiment, mais tangente en C aux spires. Puis, pour vérifier, on la partagera en éléments suffisamment petits et égaux, dix ou douze, par exemple, C*a*, *ab*, *bc*, *cd*, etc. ; le dernier élément A*n* seul sera généralement plus petit que les autres. On marquera de suite le centre de gravité de chaque élément, en le considérant comme une petite ligne droite ou, suivant les cas, comme un petit arc de cercle. Pour chaque centre de gravité, on mesurera sa distance à OD et on modifiera celle relative à A*n* en la multipliant par le rapport de A*n* à la longueur commune de tous les autres arcs.

Avec cette modification, il devra arriver que la somme des distances des centres de gravité qui sont d'un côté de OD soit égale à la somme des distances de ceux qui sont situés de l'autre côté.

Si cette condition n'est pas remplie, il sera très-facile de modifier l'une des deux portions de la courbe de manière à y arriver.

Ce premier point établi, il reste encore à satisfaire à la seconde condition, à savoir que la distance OG du centre de gravité au centre soit égale à $\frac{\rho^2_0}{l}$, ρ_0 étant le rayon des spires et l la longueur de la courbe ABC.

Or pour obtenir l'écartement du centre de gravité de la courbe du point O, on mesurera celui des centres de gravité de tous les petits arcs, C*a*, *ab*, *bc*, etc., à partir de la ligne COE; on modifiera celle de ces distances qui répond à A*n* en la multipliant par le rapport de A*n* à la longueur des autres petits arcs.

On prendra la somme algébrique de toutes ces distances en regardant comme positives celles qui sont à droite de CE; c'est-à-dire du même côté que B, et comme négatives celles qui sont de l'autre côté. On multipliera cette somme par la longueur commune des éléments C*a*, *ab*, *bc*, etc., et l'on divisera le produit par la longueur de la courbe ABC. Ce quotient, qui donnera la distance OG, devra être égal à $\frac{\rho_0^2}{l}$. Si cette égalité n'a pas lieu, il sera facile de modifier la courbe de manière à y arriver tout en continuant de satisfaire à la première condition. En effet, supposons, pour fixer les idées, que la distance OG ainsi obtenue soit supérieure à $\frac{\rho_0^2}{l}$. On prendra de part et d'autre du point B deux arcs BM et BN, tels que le centre de gravité de leur ensemble soit sur OD, ce qu'il sera aisé de vérifier, et on remplacera l'arc MBN par un arc intérieur MIN dout le centre de gravité soit aussi sur OD et dont le moment, par rapport à CE, sera évidemment moindre. Il est clair

qu'on arrivera ainsi très-vite au résultat cherché, et c'est en effet de cette manière que j'ai déterminé les tracés de courbes extrêmes qui sont joints à ce travail (Pl. II et III).

On pourra ensuite réduire la courbe extrême à sa vraie grandeur par une courbe semblable tracée autour du centre.

On peut, ainsi que je l'ai fait, vérifier directement, d'après les tracés, que les courbes extrêmes, déterminées de cette manière, satisfont en réalité à la condition que le centre des spires ne se déplace que d'une quantité tout à fait insensible, dans les limites extrêmes des oscillations du balancier.

Afin de procéder à cette vérification, on tracera la courbe par arcs de cercle successifs, C*a*, *ab*, *bc*, etc., en cherchant pour chacun d'eux le centre et le rayon correspondants. Cette décomposition de la courbe en arcs de cercle successifs est même toujours utile pour la tracer graphiquement d'une manière plus régulière. Puis on calculera les rayons de la courbe modifiée d'après la formule $\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} = \frac{\alpha}{L}$ ou $r = \frac{r_0}{1 + \frac{\alpha}{L} r_0}$.

A l'aide de ces nouveaux rayons, on tracera la courbe modifiée par arcs successifs à partir du point A où la tangente n'a pas changé de direction; puis, en arrivant au point C, on portera sur la normale une longueur égale au rayon modifié des spires, et ce centre devra se trouver toujours sensiblement au point O. C'est en effet ce que j'ai toujours obtenu (voir Pl. II et III).

Au sujet de cette vérification, il y a une remarque à faire. D'après la manière dont elle est effectuée, la courbe se trouve décomposée en une série d'arcs de

cercle plus ou moins petits, dont les rayons varient brusquement de l'un à l'autre, c'est-à-dire d'une manière discontinue. Or les calculs qui avaient conduit à la loi des courbes extrêmes exprimée par les formules (32) et (33) supposaient les rayons de courbure variant d'une manière continue. Dans l'espèce, cela n'a pas d'importance, puisqu'il s'agit seulement d'une vérification *à posteriori;* mais, d'ailleurs, il est facile de reconnaître que la courbe décomposée en arcs de cercle de rayons variant brusquement de l'un à l'autre rentre dans les conditions qui ont servi à établir les formules (32) et (33). En effet, au point de rencontre et de tangence de deux arcs différents, les deux centres de courbure sont placés sur la normale commune. Or rien n'empêche d'échelonner sur cette normale une infinité de centres de courbure intermédiaires infiniment rapprochés les uns des autres, et de substituer par la pensée, au point de rencontre des deux arcs, une infinité d'arcs infiniment petits décrits de chacun de ces centres de courbure intermédiaires. En opérant ainsi pour chaque rencontre de deux arcs, on aura pour tout l'ensemble de la courbe une série de rayons de courbure et de centres de courbure variant tous d'une manière continue, et il est facile de reconnaître, en revoyant tous les calculs et tous les raisonnements qui ont conduit à (32) et (33), que rien n'y est contrarié par la nouvelle hypothèse dont je viens de parler. On voit en effet ces vérifications aboutir graphiquement au résultat prévu de l'invariabilité du centre des spires.

De l'isochronisme du spiral plat.

Quant au spiral plat, qui est employé dans les montres, on peut appliquer jusqu'à un certain point les considérations qui viennent d'être développées tout au long pour le spiral cylindrique des chronomètres.

Ici il faut encore chercher si, pour toutes les valeurs

par lesquelles passe l'angle α, il est possible de déformer le spiral d'après la loi

$$\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} = \frac{\alpha}{L},$$

de manière que l'un des bouts restant fixe, avec une inclinaison constante, l'autre extrémité, qui est celle la plus voisine du centre, satisfasse toujours, comme position et inclinaison, aux conditions de son encastrement dans la virole du balancier. Or dans la pratique, cet encastrement a généralement lieu de manière que le spiral vienne s'appliquer tangentiellement dans la virole. Le problème est alors celui-ci : « Chercher si, en déformant le spiral d'après la loi qui vient d'être énoncée et prenant sur le rayon extrême une longueur constante égale au rayon de la virole, on peut tomber sur un point ou centre occupant une position invariable, quel que soit l'angle α. » Je dirai de suite que j'ai pu obtenir les conditions nécessaires pour qu'il en soit ainsi pour de petites oscillations du balancier; mais je n'ai rien trouvé pour les grandes, ce qui paraît d'ailleurs être d'accord avec l'expérience.

Pour cela, il suffit de répéter les calculs qui ont été faits pour la courbe ABC des chronomètres, depuis la formule (11) jusqu'à celles (22) et (23). Ici, désignant par ξ''' et η''' les coordonnées du dernier centre qui doit correspondre à celui de la virole, on aura ξ''' et η''' par les mêmes formules (22) et (23), avec la seule modification suivante. Le dernier rayon à porter sur la normale correspondante étant celui de la virole, ρ_1 par exemple, qui est d'une longueur fixe, le facteur $\frac{\rho_0}{1 + \frac{\alpha}{L}\rho_0}$ qui entre dans (22) et (23) doit être remplacé par ρ_1; de plus, l devient égal à L. On a alors, dans le cas actuel :

$$(45)\qquad \xi''' = -\rho_1 \sin(\theta''_0+\alpha) + \int_0^L \cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right) ds.$$

$$(46)\qquad \eta''' = -\delta + \rho_1 \cos(\theta''_0+\alpha) + \int_0^L \sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right) ds.$$

Cherchons maintenant les conditions pour que les coordonnées ξ''' et η''' soient nulles, soit

$$(47)\qquad \int_0^L \cos\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right) ds = \rho_1 \sin(\theta''_0+\alpha).$$

et

$$(48)\qquad \int_0^L \sin\left(\theta_0+\frac{\alpha s}{L}\right) ds = \delta - \rho_1 \cos(\theta''_0+\alpha).$$

Ici nous sommes obligé d'imposer une condition, à savoir que l'angle α soit suffisamment petit pour qu'on puisse remplacer son sinus par l'arc et son cosinus par l'unité. Dès lors on voit de suite que les relations (47) et (48) peuvent être mises sous la forme

$$\int_0^L \cos\theta_0 ds - \frac{\alpha}{L}\int_0^L s.\sin\theta_0 ds = \rho_1 \sin\theta''_0 + \alpha\rho_1 \cos\theta''_0$$

et

$$\int_0^L \sin\theta_0 ds + \frac{\alpha}{L}\int_0^L s\cos\theta_0 ds = \delta - \rho_1\cos\theta''_0 + \alpha\rho_1 \sin\theta''_0.$$

En égalant séparément dans ces deux relations les parties indépendantes de α et celles multipliées par α, qui se trouvent dans les deux membres de chacune d'elles, on arrive aux quatre conditions suivantes :

$$(49)\qquad \int_0^L \cos\theta_0 ds = \rho_1 \sin\theta''_0,$$

$$(50)\qquad \int_0^L \sin\theta_0 ds = \delta - \rho_1 \cos\theta''_0.$$

$$(51)\qquad -\int_0^L s.\sin\theta_0 ds = \rho_1 L \cos\theta''_0.$$

$$(52)\qquad \int_0^L s\cos\theta_0 ds = \rho_1 L \sin\theta''_0.$$

Il est facile de reconnaître que les deux premières conditions (49) et (50) sont satisfaites par la construction même du spiral, ainsi que les formules (28) et (29) l'étaient pour le spiral cylindrique; il reste donc maintenant les deux conditions (51) et (52). Or, en intégrant par parties, on a :

$$\int s\sin\theta_0 ds = \int s dy = sy - \int y ds$$

et

$$\int s\cos\theta_0 ds = \int s dx = sx - \int x ds.$$

Si donc on passe aux intégrales définies et qu'on appelle x_1 et y_1 les coordonnées du centre de gravité du spiral, on a :

$$-\int_0^L s\sin\theta_0 ds = \rho_1 L\cos\theta''_0 + L y_1$$

et

$$\int_0^L s\cos\theta_0 ds = \rho_1 L\sin\theta''_0 - L x_1.$$

Enfin, substituant dans (51) et (52), on en déduit simplement :

$$(53)\qquad \begin{cases} x_1 = 0 \\ y_1 = 0, \end{cases}$$

c'est-à-dire que le centre de gravité du spiral doit être sur l'axe du balancier.

J'ai supposé que, ainsi que cela a lieu ordinairement dans la pratique, le spiral vienne se raccorder tangentiellement à la virole du balancier.

Il est facile de démontrer que, lors même que cette rencontre aurait lieu sous un angle 6 quelconque, ou arriverait toujours à la même condition

$$x_1 = 0 \quad \text{et} \quad y_1 = 0.$$

En effet, soient CB (Pl. I, *fig.* 9) la fin du spiral et C son extrémité. Soit SCT $= 6$ l'angle des deux tangentes;

ce sera aussi celui OCD des deux normales, et l'on aura :

$$(54) \qquad [CD = \rho_1 \cos 6 \quad \text{et} \quad OD = \rho_1 \sin 6]$$

la ligne OD étant perpendiculaire à CD. En appelant ξ_1 et η_1 les coordonnées du point D, elles se déduiraient des valeurs (45) et (46), en y changeant ρ_1 en $\rho_1 \cos 6$, et l'on aurait :

$$(55) \quad \xi_1 = -\rho_1 \cos 6 \sin(\theta''_0 + \alpha) + \int_0^L \cos\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds.$$

$$(56) \quad \eta_1 = -\delta + \rho_1 \cos 6 \cos(\theta''_0 + \alpha) + \int_0^L \sin\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds.$$

Désignons maintenant par ξ''' et η''' les coordonnées cherchées du point O, et formons le triangle rectangle ODE dont le côté OE est parallèle à l'axe des x, et celui DE à l'axe des y. En se reportant à la *fig.* 5, Pl. I, il est facile de reconnaître que l'angle DOE, égal à EDF, est égal à $\theta''_0 - 180°$ diminué d'un certain nombre entier de fois 360°. Donc

$$OE = -OD \cos(\theta''_0 + \alpha)$$

et

$$DE = -OD \sin(\theta''_0 + \alpha),$$

ou, à cause de (54),

$$(57) \qquad \begin{cases} OE = -\rho_1 \sin 6 \cos(\theta''_0 + \alpha), \\ DE = -\rho_1 \sin 6 \sin(\theta''_0 + \alpha). \end{cases}$$

Mais on a évidemment :

$$\xi''' = \xi_1 - OE$$

et

$$\eta''' = \eta_1 - DE.$$

Il vient donc, en ayant égard à (55), (56) et (57):

$$(58) \quad \xi''' = -\rho_1 \sin(\theta''_0 - 6 + \alpha) \int_0^L \cos\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds,$$

$$(59) \quad \eta''' = -\delta + \rho_1 \cos(\theta''_0 - 6 + \alpha) + \int_0^L \sin\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds.$$

En procédant comme cela a été fait précédemment, on voit que, pour que ξ''' et η''' soient nulles dans les petites oscillations, il faut que les quatre conditions suivantes soient satisfaites, savoir :

$$\int_0^L \cos\theta_0 ds = \rho_1 \sin(\theta''_0 - 6),$$

$$\int_0^L \sin\theta_0 ds = \delta - \rho_1 \cos(\theta''_0 - 6),$$

$$-\int_0^L s \sin\theta_0 ds = \rho_1 L \cos(\theta''_0 - 6),$$

$$\int_0^L s \cos\theta_0 ds = \rho_1 L \sin(\theta''_0 - 6).$$

Les deux premières conditions sont encore remplies par la construction même du spiral. Quant aux deux dernières, en les développant exactement comme dans le cas précédent, on est conduit à

$$x_1 = 0 \qquad y_1 = 0.$$

Dans le spiral plat, dit ramené, on sait que le bout du spiral qui correspond à son extrémité fixe se termine sous forme d'une courbe qui a pour objet de le faire développer plus concentriquement à l'axe et d'obtenir un meilleur fonctionnement. Il est convenable, pour cela, d'utiliser ce qui a été dit ci-dessus pour les courbes extrêmes du spiral cylindrique et de terminer le spiral plat par l'une quelconque des formes de courbes théoriques appropriées à chaque cas. Par exemple, la *fig.* 1, Pl. V, montre un exemple de spiral plat terminé par la forme de courbe théorique composée de deux quarts de cercle réunis sur une ligne droite. Le tracé des déformations fait voir que le centre de la virole ne tend nullement à se déplacer pendant les oscillations du balancier.

Allongements et raccourcissements proportionnels.

On peut se demander quels sont les allongements et raccourcissements proportionnels que subit le spiral pendant les déformations. Or on voit de suite qu'en appelant i cet allongement ou ce raccourcissement, on a :

(60) $$i = \frac{e}{2}\frac{\alpha}{L},$$

car il est égal à

$$\frac{e}{2}\left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r}\right) \quad \text{ou} \quad \frac{e}{2}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}\right).$$

Il est donc constant dans toute l'étendue du spiral, proportionnel à l'épaisseur du fil et à l'angle de rotation et en raison inverse de la longueur de ce fil.

On obtient ici sur le travail de déformation du spiral des résultats tout à fait analogues à ceux auxquels j'étais parvenu dans mon mémoire sur les ressorts en acier employés dans les chemins de fer.

En effet soit a la longueur du fil du spiral.

Considérons, dans sa section transversale, un élément infiniment mince, ayant pour hauteur a et sa distance à l'axe neutre égale à v; l'épaisseur de cet élément sera dv. Soient ρ le rayon de courbure actuel correspondant à cette section et r le rayon de fabrication correspondant. La force attractive ou répulsive, agissant sur les faces latérales de cet élément, sera:

$$\mathrm{E}av\,dv\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r}\right).$$

L'allongement proportionnel est $v\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r}\right)$: la longueur primitive était ds. Donc, en passant du rayon ρ à $\rho + d\rho$, sa longueur s'accroît de $vd\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r}\right)ds$

et le travail élémentaire développé par ce petit prisme est :

$$\mathrm{E}av^2dv\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r}\right)d.\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r}\right)ds.$$

Si donc ρ_0 et ρ_1 sont les rayons de courbure extrêmes entre les limites de la déformation, le travail total développé par ce solide élémentaire sera :

$$\frac{\mathrm{E}av^2dv}{2}\left[\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho_1}\right)^2 - \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{r}\right)^2\right]ds.$$

Si l'on considère la section entière du fil ayant la longueur ds, le travail aura pour expression (en faisant attention que $\int \mathrm{E}av^2dv = \mathrm{M}$),

$$\frac{\mathrm{M}}{2}\left[\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho_1}\right)^2 - \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{r}\right)^2\right]ds.$$

Mais on sait qu'en général

$$\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} = \pm\frac{\alpha}{L},$$

α étant l'angle de rotation correspondant. Donc ce travail est égal à

$$\frac{\mathrm{M}}{2\mathrm{L}^2}(\alpha_1^2 - \alpha_0^2)\,ds,$$

α_1 et α_0 étant les angles de rotation du balancier répondant à ρ_1 et ρ_0.

Pour avoir le travail total absorbé par le spiral, il faut intégrer par rapport à ds, depuis o jusqu'à L. Donc enfin ce travail total est :

(61) $$\frac{\mathrm{M}}{2\mathrm{L}}(\alpha_1^2 - \alpha_0^2).$$

Cette formule fait voir que le travail, absorbé par le spiral aux dépens du balancier, s'annule continuelle-

ment, puisque, aux limites des oscillations, α_0 et α_1 sont des angles égaux et de signes contraires. Ainsi, considéré en lui-même et indépendamment des résistances passives, le spiral ne prend aucune quantité de travail au moteur.

On retrouve aussi une autre loi posée dans mon travail sur les ressorts. Appelons i_1 et i_0 les allongements proportionnels répondant à α_1 et à α_0. D'après (60), on peut substituer dans (61), à α_1 et à α_0, respectivement, $\frac{2Li_1}{e}$ et $\frac{2Li_0}{e}$, d'où résulte cette autre expression du travail

$$\frac{2ML}{e^2}(i_1^2 - i_0^2).$$

Remplaçons-y M par $\frac{Eae^3}{12}$ (en supposant la section rectangulaire) et nous aurons pour le travail :

$$\frac{EaeL}{6}(i_1^2 - i_0^2)$$

ou

$$\frac{EV}{6}(i_1^2 - i_0^2),$$

en appelant V le volume du spiral. Ainsi, d'une manière générale, le travail exigé pour la déformation de celui-ci dépend uniquement de son volume ou de son poids et des allongements qu'on lui fait subir, mais nullement de ses dimensions particulières.

De l'effet de la température sur le spiral et du moyen de corriger l'influence de ses variations sur celui-ci.

On sait que les variations de la température influent sur la marche d'un chronomètre ou d'une montre. On a déjà combattu cette cause d'irrégularité par l'emploi du balancier compensateur. Je vais ici rechercher l'influence exercée sur le spiral cylindrique et indiquer le moyen d'y remédier, quant à sa dilatation, par un certain choix de courbes extrêmes.

Je suppose un spiral construit suivant les lois exposées dans tout ce qui précède. Imaginons que celui-ci, fixé par une de ses extrémités, comme d'habitude, soit libre de l'autre et que sa température varie. Je vais d'abord chercher ce que sera sa nouvelle forme, en admettant, comme on le fait généralement, que dans un corps libre, soumis à un réchauffement ou à un refroidissement, la dilatation linéaire, positive ou négative, soit la même dans toutes les directions.

Il est facile de démontrer que les déformations seront telles que tous les rayons de courbure varieront dans le rapport même de la dilatation linéaire, que j'appellerai ε, rapportée à l'unité de longueur. En effet, soient (Pl. I, *fig.* 10) λ_0 et λ'_0 les longueurs de deux éléments correspondant, dans l'état primitif, à un même centre de courbure, O, et dont les rayons de courbure sont $OA = r_0$ et $OB = r_0 + z_0$.

On a :

$$r_0 : \lambda_0 :: z_0 : \lambda'_0 - \lambda_0$$

ou

$$r_0 = \frac{\lambda_0 z_0}{\lambda'_0 - \lambda_0}.$$

Après la dilatation, r_0, λ_0, λ'_0, et z_0 sont devenus r, λ, λ' et z, et l'on a :

$$r = \frac{\lambda z}{\lambda' - \lambda}.$$

Mais

$$\lambda = (1+\varepsilon)\lambda_0 \qquad \lambda' = (1+\varepsilon)\lambda'_0 \qquad z = (1+\varepsilon)z_0.$$

Donc

$$r = (1+\varepsilon)\frac{\lambda_0 z_0}{\lambda'_0 - \lambda_0},$$

ou

$$(62) \qquad r = (1+\varepsilon)r_0,$$

ce qu'il fallait démontrer.

Ce premier point établi, je vais chercher quelle doit être la forme des courbes extrêmes pour que, dans la déformation produite par la dilatation, l'extrémité que j'ai supposée libre du spiral vienne d'elle-même aboutir précisément sur le cercle de la virole, et rencontre celui-ci sous l'angle primitif donné d'avance. En recommençant le raisonnement qui a été fait plus haut, à propos de la déformation résultant des oscillations du balancier, on reconnaît exactement de même qu'il faut et qu'il suffit que la courbe extrême soit telle que, dans la déformation produite par la dilatation, le centre des spires reste sur l'axe du balancier. Le calcul, dans les deux cas, offre une grande analogie quant à la marche, et j'emploierai les mêmes notations et la même figure qui est la *fig.* 5, Pl. I. Il suffit seulement d'observer que la courbe déformée l'est d'après la loi de la dilatation, et qu'en conséquence,

$$ds = (1+\varepsilon)\,ds_0. \tag{63}$$

De plus, comme $dr = (1+\varepsilon)\,dr_0$, on voit que

$$\frac{ds}{dr} = \frac{ds_0}{dr_0},$$

ou bien

$$d\theta = d\theta_0.$$

Par suite,

$$\theta = \theta_0. \tag{64}$$

Je n'ajoute pas de constante, attendu que les valeurs de θ et de θ_0 sont les mêmes au point fixe. Le calcul se conduit maintenant tout à fait comme dans le cas que je viens de rappeler. En appelant encore ξ et η les coordonnées du centre de courbure d'un point quelconque de la courbe extrême déformée, on a :

$$\begin{cases} d\xi = -(1+\varepsilon)\,dr_0 \sin\theta_0 \\ d\eta = (1+\varepsilon)\,dr_0 \cos\theta_0. \end{cases} \tag{65}$$

$$\begin{cases} \xi' = -r' \sin\theta'_0 = -(1+\varepsilon) r'_0 \sin\theta'_0 \\ \eta' = -\delta + r' \cos\theta'_0 = -\delta + (1+\varepsilon) r'_0 \cos\theta'_0. \end{cases} \tag{66}$$

$$\begin{cases} \xi'' = -(1+\varepsilon) r'_0 \sin\theta'_0 - (1+\varepsilon) \int \sin\theta_0 dr_0 \\ \eta'' = -\delta + (1+\varepsilon) r'_0 \cos\theta'_0 + (1+\varepsilon) \int \cos\theta_0 dr_0. \end{cases} \tag{67}$$

$$\begin{cases} \xi''' = \xi'' - (\rho - r'') \sin\theta'' = \xi'' - (1+\varepsilon)\rho_0 \sin\theta''_0 + \\ \qquad + (1+\varepsilon) r''_0 \sin\theta''_0 \\ \eta''' = \eta'' - (\rho - r'') \cos\theta'' = \eta'' + (1+\varepsilon)\rho_0 \cos\theta''_0 - \\ \qquad - (1+\varepsilon) r''_0 \cos\theta''_0. \end{cases} \tag{68}$$

Remplaçant, dans ξ''' et η''', ξ'' et η'' par leurs valeurs (67), et intégrant par parties

$$\int \sin\theta_0 dr_0 \quad \text{et} \quad \int \cos\theta_0 dr_0,$$

on a finalement :

$$\xi''' = -(1+\varepsilon)\rho_0 \sin\theta''_0 + (1+\varepsilon) \int \cos\theta_0 ds. \tag{69}$$

$$\eta''' = -\delta + (1+\varepsilon)\rho_0 \cos\theta''_0 + (1+\varepsilon) \int \sin\theta_0 ds. \tag{70}$$

Il faut que ξ''' et η''' soient nulles pour toutes les valeurs de ε. On doit donc égaler à zéro les seconds membres de (69) et (70). En les simplifiant à l'aide des relations (28) et (29), on voit que la première condition est satisfaite d'elle-même, et que la seconde conduit à

$$\varepsilon\delta = 0$$

ou

$$\delta = 0 \tag{71}$$

qui correspond à une courbe extrême partant du centre même des spires.

Ainsi, en prenant pour courbe extrême une courbe théorique partant de l'axe même du balancier, il arrivera que, par les changements de température, ses extrémités n'exerceront aucun effort contre cet axe, puisque si un des bouts était fixé comme d'habitude et l'autre libre, celui-ci viendrait de lui-même remplir les conditions de position et d'inclinaison qui lui sont assignées.

Mais ce n'est pas tout, et je vais faire voir que le spiral étant déformé par le changement de température, les courbes extrêmes déformées remplissent encore la condition, relativement à leur centre de gravité, qui a été démontrée nécessaire et suffisante.

En effet, appelons (x_1) et (y_1) les coordonnées du centre de gravité de la courbe extrême déformée par la dilatation et x_1 et y_1 celles du centre de gravité de la même courbe non déformée par la dilatation, et supposons qu'on ait pris pour axes coordonnés deux axes rectangulaires passant par le centre des spires, celui des x étant mené par le centre de gravité de la courbe non déformée, et celui des y passant par conséquent par le point C, où la courbe extrême se raccorde avec les spires.

On a, par rapport à la courbe déformée :

$$\int s \sin\theta ds = \int s dy = sy - \int y ds,$$

et, en intégrant dans toute l'étendue de la courbe extrême :

$$\int_o^l s \sin\theta ds = -l\rho\cos\theta'' - l(y_1). \tag{72}$$

D'un autre côté, en comparant les points correspondants des deux courbes, déformée et non déformée, on a :

$$s = (1+\varepsilon)s_o; \quad ds = (1+\varepsilon)ds_o; \quad l = (1+\varepsilon)l_o;$$

$$\theta = \theta_o.$$

Donc

$$\int_o^l s \sin\theta ds = (1+\varepsilon)^2 \int_o^{l_o} s_o \sin\theta_o ds_o$$

et

$$\int_o^l s \sin\theta ds = (1+\varepsilon)^2 (-l_o\rho_o\cos\theta''_o - l_o y_1). \tag{73}$$

En égalant les seconds membres de (72) et de (73) et faisant attention que $l\rho\cos\theta'' = (1+\varepsilon)^2 l_o\rho_o\cos\theta''_o$, il reste :

$$l(y_1) = (1+\varepsilon)^2 l_o y_1,$$

et comme $y_1 = 0$, on voit que

$$(y_1) = 0. \tag{74}$$

De même, on a :

$$\int s\cos\theta . ds = \int s dx = sx - \int x ds.$$

Donc

$$\int_o^l s\cos\theta ds = l\rho\sin\theta'' - l(x_1). \tag{75}$$

D'un autre côté,

$$\int_o^l s\cos\theta . ds = (1+\varepsilon)^2 \int_o^{l_o} s_o\cos\theta_o ds_o = \tag{76}$$

$$= (1+\varepsilon)^2 (l_o\rho_o\sin\theta''_o - l_o x_1).$$

Égalant les seconds membres de (75) et de (76) et remarquant que $l\rho\sin\theta''$ se détruit avec $(1+\varepsilon)^2 l_o\rho_o\sin\theta''_o$, il reste :

$$l(x_1) = (1+\varepsilon)^2 l_o x_1;$$

mais

$$x_1 = \frac{\rho^2_o}{l_o};$$

donc

$$l(x_1) = (1+\varepsilon)^2\rho_o^2 = \rho^2$$

ou

$$(x_1) = \frac{\rho^2}{l}. \tag{77}$$

Les relations (74) et (77) montrent donc que les courbes extrêmes remplissent les conditions relatives à l'isochronisme.

Il est, du reste, facile de se rendre compte que δ pourrait être quelconque, si la pièce qui porte l'ex-

trémité fixe du spiral était du même métal que celui-ci et avait par suite le même coefficient de dilatation.

Ainsi, quoique l'influence de la température sur le spiral soit extrêmement faible, on a par là le moyen de la combattre.

De l'influence du frottement du balancier.

Il est généralement reconnu que, pour que les frottements du balancier soient négligeables, il convient que ses oscillations soient les plus grandes possibles.

Ceci résulte de la théorie. En effet, considérons le balancier, alors qu'il s'éloigne de sa position d'équilibre, et soit μ le moment par rapport à son axe des forces de frottement. Dans cette période, le moment μ s'ajoute au moment du spiral, et l'on a :

$$(78) \qquad A\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -\frac{M\alpha}{L} - \mu ;$$

d'où l'on tire, en multipliant par $2d\alpha$, intégrant et déterminant la constante de telle sorte que la vitesse soit nulle pour $\alpha = \alpha_0$:

$$A\frac{d\alpha^2}{dt^2} = \frac{M}{L}(\alpha_0^2 - \alpha^2) + 2\mu(\alpha_0 - \alpha)$$

et

$$(79) \qquad dt = \sqrt{\frac{A}{\frac{M}{L}(\alpha_0^2 - \alpha^2) + 2\mu(\alpha_0 - \alpha)}}\, d\alpha.$$

Si l'angle α_0 n'est pas très-petit, le terme $2\mu(\alpha_0 - \alpha)$ est extrêmement inférieur à $\frac{M}{L}(\alpha_0^2 - \alpha^2)$, et l'on peut écrire :

$$dt = \sqrt{\frac{AL}{M(\alpha_0^2 - \alpha^2)}}\left(1 - \frac{2\mu L}{M}\frac{1}{\alpha_0 + \alpha}\right)^{\frac{1}{2}} d\alpha =$$

$$= \sqrt{\frac{AL}{M(\alpha_0^2 - \alpha^2)}}\left(1 - \frac{\mu L}{M}\frac{1}{\alpha_0 + \alpha}\right) d\alpha,$$

ou

$$(80) \qquad dt = \sqrt{\frac{AL}{M}}\frac{d\alpha}{\sqrt{\alpha_0^2 - \alpha^2}} - \frac{\mu L}{M}\sqrt{\frac{AL}{M}}\frac{1}{\sqrt{\alpha_0^2 - \alpha^2}}\frac{1}{\alpha_0 + \alpha}\, d\alpha.$$

Je vais maintenant chercher le temps que le balancier emploie à aller de sa position d'équilibre à celle qui répond à $\alpha = \alpha_0$. Pour cela, il faut intégrer l'expression précédente. Or l'intégration entre ces deux limites de la première partie :

$$\sqrt{\frac{AL}{M}}\frac{d\alpha}{\sqrt{\alpha_0^2 - \alpha^2}}$$

donne, comme on sait,

$$\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{AL}{M}}.$$

Reste la seconde partie, savoir :

$$-\frac{\mu L}{M}\sqrt{\frac{AL}{M}}\frac{1}{\sqrt{\alpha_0^2 - \alpha^2}}\frac{1}{\alpha_0 + \alpha}\, d\alpha,$$

laquelle s'intègre aisément, en la transformant en fraction rationnelle, et l'on trouve pour son intégrale indéfinie, en négligeant la constante :

$$\frac{2\mu L}{M}\sqrt{\frac{AL}{M}}\cdot\frac{\alpha}{\alpha_0}\frac{1}{\alpha + \alpha_0 - \sqrt{\alpha_0^2 - \alpha^2}}.$$

Pour $\alpha = 0$, cette expression se présente sous la forme $\frac{0}{0}$; mais on obtient facilement sa vraie valeur en cherchant les dérivées du numérateur et du dénominateur. On trouve ainsi pour l'intégrale, depuis $\alpha = 0$ jusqu'à $\alpha = \alpha_0$:

$$(81) \qquad -\frac{\mu L}{M}\sqrt{\frac{AL}{M}}\frac{1}{\alpha_0},$$

ce qui montre que, dans la demi-oscillation ascendante, la durée de celle-ci est diminuée, par le fait du frottement, d'une quantité égale à

$$\frac{\mu L}{M}\sqrt{\frac{AL}{M}}\frac{1}{\alpha_0},$$

ou d'une fraction d'elle-même égale à

$$\frac{2\mu L}{M}\frac{\pi}{\alpha_0}.$$

Quand le balancier revient vers sa position d'équilibre, le frottement agit en sens inverse du spiral, et dans cette demi-oscillation descendante, on doit changer μ en $-\mu$, et, à cette différence près, on arrive encore à la relation (79). Seulement, il faut aussi, dans celle-ci, changer le signe du radical, attendu que $d\alpha$ est négatif et que dt doit être positif. En ayant égard à ces observations, le reste se termine de la même manière, et l'on trouve que la durée de cette demi-oscillation est égale à $\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{AL}{M}}$, augmentée cette fois, au lieu d'être diminuée, de la même quantité :

$$\frac{\mu L}{M}\sqrt{\frac{AL}{M}}\frac{1}{\alpha_0}.$$

Donc, le temps définitif qui s'écoule entre deux passages successifs du balancier par sa position d'équilibre ou le temps d'une oscillation est égal à $\pi\sqrt{\frac{AL}{M}}$, c'est-à-dire le même que s'il n'y avait pas de frottement. Seulement, il ne faut pas oublier qu'il faut pour cela que l'amplitude des oscillations soit assez grande et que le frottement soit suffisamment petit.

On s'explique très-bien ce fait signalé par le calcul,

que la durée de la demi-oscillation ascendante soit diminuée par le frottement, tandis que celle de la demi-oscillation descendante est augmentée. En effet, quand le balancier s'éloigne de sa position d'équilibre, il est animé, à chaque instant, d'une vitesse plus grande que celle qu'il aurait, s'il faisait sans frottement des oscillations de la même amplitude, sans quoi le frottement l'empêcherait d'arriver au même angle α_0. Donc la durée de la demi-oscillation est diminuée par le frottement. Au contraire, quand le balancier revient à sa position d'équilibre, il a en chaque point une vitesse moindre que celle dont il serait animé s'il avait parcouru sans frottement le même angle, depuis la même limite α_0, et, par conséquent, la durée de cette demi-oscillation est augmentée par le frottement.

A cause du frottement, s'il n'y avait pas l'influence de l'échappement, l'amplitude des oscillations irait continuellement en diminuant. Il est facile de trouver quel serait l'angle α_1 qui succéderait à α_0 à l'autre limite de l'oscillation. On a alors, en changeant dans (78) μ en $-\mu$ et faisant, $\frac{d\alpha}{dt}=0$:

$$\frac{M}{L}(\alpha_0^2-\alpha_1^2)-2\mu(\alpha_0-\alpha_1)=0,$$

d'où

$$\alpha_1=-\alpha_0+\frac{2\mu L}{M}, \tag{82}$$

ou encore, comme on a :

$$G=\frac{M\alpha_0}{L},$$

G étant le moment de l'action du spiral contre le balancier, on voit que :

$$\alpha_1=-\alpha_0\left(1-\frac{2\mu}{G}\right). \tag{83}$$

ce qui montre que, dans la demi-oscillation ascendante, la durée de celle-ci est diminuée, par le fait du frottement, d'une quantité égale à

$$\frac{\mu L}{M}\sqrt{\frac{AL}{M}}\frac{1}{\alpha_0},$$

ou d'une fraction d'elle-même égale à

$$\frac{2\mu L}{M}\frac{\pi}{\alpha_0}.$$

Quand le balancier revient vers sa position d'équilibre, le frottement agit en sens inverse du spiral, et dans cette demi-oscillation descendante, on doit changer μ en $-\mu$, et, à cette différence près, on arrive encore à la relation (79). Seulement, il faut aussi, dans celle-ci, changer le signe du radical, attendu que $d\alpha$ est négatif et que dt doit être positif. En ayant égard à ces observations, le reste se termine de la même manière, et l'on trouve que la durée de cette demi-oscillation est égale à $\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{AL}{M}}$, augmentée cette fois, au lieu d'être diminuée, de la même quantité :

$$\frac{\mu L}{M}\sqrt{\frac{AL}{M}}\frac{1}{\alpha_0}.$$

Donc, le temps définitif qui s'écoule entre deux passages successifs du balancier par sa position d'équilibre ou le temps d'une oscillation est égal à $\pi\sqrt{\frac{AL}{M}}$, c'est-à-dire le même que s'il n'y avait pas de frottement. Seulement, il ne faut pas oublier qu'il faut pour cela que l'amplitude des oscillations soit assez grande et que le frottement soit suffisamment petit.

On s'explique très-bien ce fait signalé par le calcul,

que la durée de la demi-oscillation ascendante soit diminuée par le frottement, tandis que celle de la demi-oscillation descendante est augmentée. En effet, quand le balancier s'éloigne de sa position d'équilibre, il est animé, à chaque instant, d'une vitesse plus grande que celle qu'il aurait, s'il faisait sans frottement des oscillations de la même amplitude, sans quoi le frottement l'empêcherait d'arriver au même angle α_0. Donc la durée de la demi-oscillation est diminuée par le frottement. Au contraire, quand le balancier revient à sa position d'équilibre, il a en chaque point une vitesse moindre que celle dont il serait animé s'il avait parcouru sans frottement le même angle, depuis la même limite α_0, et, par conséquent, la durée de cette demi-oscillation est augmentée par le frottement.

A cause du frottement, s'il n'y avait pas l'influence de l'échappement, l'amplitude des oscillations irait continuellement en diminuant. Il est facile de trouver quel serait l'angle α_1 qui succéderait à α_0 à l'autre limite de l'oscillation. On a alors, en changeant dans (78) μ en $-\mu$ et faisant, $\frac{d\alpha}{dt}=0$:

$$\frac{M}{L}(\alpha_0^2-\alpha_1^2)-2\mu(\alpha_0-\alpha_1)=0,$$

d'où

$$\alpha_1=-\alpha_0+\frac{2\mu L}{M}, \tag{82}$$

ou encore, comme on a :

$$G=\frac{M\alpha_0}{L},$$

G étant le moment de l'action du spiral contre le balancier, on voit que :

$$\alpha_1=-\alpha_0\left(1-\frac{2\mu}{G}\right) \tag{83}$$

La formule (82) fait voir que le frottement diminue d'autant moins l'amplitude des oscillations que le spiral est plus court et que son moment d'élasticité est plus grand.

Je ferai voir, dans le chapitre suivant, l'accord des résultats, obtenus dans ce qui précède, avec l'expérience. Mais dès à présent, on peut reconnaître qu'ils concordent tous parfaitement, avec ce qui est admis généralement et avec les seules recherches théoriques qui aient été faites antérieurement et qui sont dues à Ferdinand Berthoud. Je vais les rappeler succinctement.

F. Berthoud, dans son *Traité des horloges marines*, 3e volume (nos 137 à 241) donne le résultat de ces recherches et dans l'appendice 7 placé à la fin de ce même volume, il fait connaître son mémoire à ce sujet, déposé cacheté à l'Académie des sciences le 10 février 1768 et ouvert le 15 janvier 1772. Le résumé de son travail est celui-ci :

Il part de ce principe que les oscillations d'un balancier seraient isochrones, si la force qui tend à le faire mouvoir était toujours proportionnelle à l'angle d'écartement, ce qui est évident; puis, il remarque qu'il est important que le balancier combiné avec le spiral seul, ait son mouvement aussi libre que possible ou conserve longtemps une impulsion communiquée, ce qui coïnciderait avec la plus grande réduction possible des frottements de ses pivots. Pour étudier les conditions à remplir par le spiral pour l'isochronisme il a procédé expérimentalement à l'aide d'un appareil qu'il appelait balance élastique et avec lequel il mesurait, pour des angles d'écartement du balancier croissant uniformément, les forces nécessaires pour le maintenir en équilibre contre l'action du spiral.

C'est ainsi qu'il est arrivé par tâtonnements et par raisonnements à formuler les propositions suivantes, admises maintenant de tout le monde et qu'on a vu paraître plus haut, comme conséquences de ma théorie.

N° 162. « Pour que l'action du spiral se communique au balancier avec le moins de perte possible et sans causer de frottement aux pivots du balancier, il faut que le mouvement du spiral se fasse sans déplacer l'axe du balancier.

N° 163. Pour parvenir à procurer cette propriété au spiral, il faut qu'il soit fort long et plié par un grand nombre de tours serrés et d'un petit diamètre; alors il aura un centre commun dans son mouvement, et la durée du mouvement libre du balancier en sera plus grande.

N° 164. Il faut que l'axe du balancier et celui du ressort coïncident parfaitement.

N° 165. Que le spiral adapté au balancier (celui-ci étant arrêté) soit dans un état parfaitement libre. »

On voit que j'ai précisé encore plus ces conditions : 1° en indiquant que, dans les déformations du spiral, son centre doit toujours rester sur l'axe; 2° que non-seulement l'axe du spiral doit coïncider avec celui du balancier, mais que le centre de gravité du spiral doit être sur l'axe du balancier.

Puis, non-seulement il ressort de ma théorie que plus le spiral est long, dans de certaines limites, plus on tend vers l'isochronisme; mais j'ai donné le moyen d'obtenir les courbes extrêmes qui réalisent rigoureusement ces conditions, ce qui s'accorde avec les idées dominantes aujourd'hui de parvenir mieux et plus sûrement à l'isochronisme par la forme des courbes extrêmes combinées avec une longueur suffisante, plutôt que par la longueur seule et le nombre de tours.

J'ai fait voir précédemment que la durée des vibrations est proportionnelle à la racine carrée de la longueur du spiral. La table suivante permet de suite de connaître la manière dont varie cette durée avec la longueur du spiral. Il est à remarquer que, dans cette même table, on pourrait y considérer le rapport des longueurs comme remplacé par celui des moments d'inertie du balancier ou par le rapport inverse des moments d'élasticité.

Table donnant les rapports des nombres de vibrations du balancier, dans un même temps, pour des longueurs différentes d'un spiral.

RAPPORT des longueurs du spiral.	RAPPORT DU NOMBRE des vibrations dans un même temps.	RAPPORT des longueurs du spiral.	RAPPORT DU NOMBRE des vibrations dans un même temps.
0,99	1,0050	0,59	1,3019
0,98	1,0101	0,58	1,3131
0,97	1,0153	0,57	1,3245
0,96	1,0206	0,56	1,3363
0,95	1,0260	0,55	1,3484
0,94	1,0314	0,54	1,3608
0,93	1,0370	0,53	1,3736
0,92	1,0426	0,52	1,3867
0,91	1,0483	0,51	1,4003
0,90	1,0541	0,50	1,4142
0,89	1,0600	0,49	1,4286
0,88	1,0660	0,48	1,4434
0,87	1,0721	0,47	1,4587
0,86	1,0783	0,46	1,4744
0,85	1,0846	0,45	1,4907
0,84	1,0911	0,44	1,5076
0,83	1,0977	0,43	1,5250
0,82	1,1043	0,42	1,5430
0,81	1,1111	0,41	1,5618
0,80	1,1180	0,40	1,5811
0,79	1,1251	0,39	1,6013
0,78	1,1323	0,38	1,6222
0,77	1,1396	0,37	1,6440
0,76	1,1471	0,36	1,6667
0,75	1,1547	0,35	1,6903
0,74	1,1625	0,34	1,7150
0,73	1,1704	0,33	1,7408
0,72	1,1785	0,32	1,7677
0,71	1,1868	0,31	1,7960
0,70	1,1952	0,30	1,8257
0,69	1,2038	0,29	1,8570
0,68	1,2127	0,28	1,8898
0,67	1,2217	0,27	1,9245
0,66	1,2309	0,26	1,9612
0,65	1,2403	0,25	2,0000
0,64	1,2500	0,24	2,0412
0,63	1,2599	0,23	2,0851
0,62	1,2700	0,22	2,1320
0,61	1,2803	0,21	2,1822
0,60	1,2910	0,20	2,2361

C'est ici le lieu de donner l'explication des planches qui accompagnent ce travail.

La Pl. I (*fig.* de 13 à 24 inclusivement) donne divers types de courbes théoriques. Chaque type est de deux grandeurs, dont l'une serait à peu près celle d'exécution.

La Pl. II donne les dessins de quatre courbes extrêmes théoriques aboutissant toutes à la moitié du rayon des spires. L'angle $0''_0$, qui mesure leur développement autour du centre, est respectivement de 195°, 225°, 255°, 270°. A côté de chaque dessin de courbe théorique se trouve un dessin de courbe quelconque correspondant au même angle $0''_0$. Pour chaque dessin on a calculé les déformations des courbes, pour $\alpha = 5$ et $\alpha = -5$, soit 286° 1/2 d'écart de part et d'autre de la position naturelle, les nouveaux rayons de courbure étant obtenus par la formule

$$r = \frac{r_0}{1 + \frac{\alpha r_0}{L}}.$$

Comme vérification, tous les tracés font voir que le centre des spires déformées est toujours resté au même point avec les courbes théoriques, tandis qu'avec celles qui ne le sont pas, ce centre s'est constamment beaucoup déplacé. Ces tracés sont des réductions de dessins faits très-exactement à une échelle beaucoup plus grande, telle que le diamètre des spires, dans leur position naturelle, était de $0^m,284$. La légende explicative de ces tracés, ainsi que de ceux des planches suivantes, vient ci-après.

La Pl. III donne encore, avec leurs déformations calculées, divers types de courbes théoriques. Un seul, indiqué par la *fig.* 9, est une courbe non théorique et sert de comparaison à la *fig.* 8, qui donne une courbe théorique allant au centre.

Les *fig.* 5, 6 et 7 de cette planche donnent, avec leurs déformations, des courbes théoriques aboutissant aux extrémités d'un diamètre des spires. Elles ont des formes très-simples.

Celle de la *fig.* 5 se compose de deux quarts de cercle réunis par une ligne droite, le rayon de chaque quart de cercle étant moitié de celui des spires.

Celle de la *fig.* 6 est formée de trois arcs de cercle.

Enfin celle de la *fig.* 7 est une demi-ellipse, dont le grand axe est le diamètre même des spires et dont le petit axe est environ 0,58 du grand. Cette ellipse du reste se calcule mathématiquement. La longueur de chaque demi-ellipse est 0,8 de celle d'une demi-spire.

La Pl. IV donne (*fig.* 1, 2, 3) un spiral plat théorique, c'est-à-dire ayant son centre de gravité sur l'axe, avec les déformations répondant à trois angles différents de rotation du balancier.

Les *fig.* 4, 5, 6 de cette planche donnent les mêmes choses pour un spiral non théorique. Dans ce dernier, les déplacements du centre sont bien supérieurs à ceux indiqués sur le spiral théorique.

La *fig.* 1 de la Pl. V donne un spiral plat théorique, à courbe ramenée, et cette dernière courbe, qui est aussi théorique, est dans le cas actuel, celle de la Pl. III, *fig.* 5. Ici le déplacement du centre est tout à fait nul.

LÉGENDE DE LA PLANCHE II.

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

FIGURE 1. — **Courbe théorique.**

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$). L = 8m,400.	COURBE AU MAXIMUM de déformation $\alpha = 5$ répondant à une rotation de 286° 1/2 à partir de la position naturelle.	COURBE au maximum de déformation en sens inverse $\alpha = -5$.	OBSERVATIONS.
Elle est figurée par 0, 1, 2, 3, 4; 5, 6, 7. Son centre de gravité est en G. Rayon des spires = 0m,142. $\theta_0{}'' = 195°$ $\delta = 1/2\ \rho_0 = 0^m,071$ Rayons de construction de la courbe : 1er = 0m,0355 2e = ∞ 3e = 0m,195 4e = 0m,0578 5e = 0m,0362 6e = 0m,0688 7e = 0m,1045	Elle est figurée par 0′, 1′, 2′, 3′, 4′, 5′, 6′, 7. Rayon des spires = 0m,131 Rayons de construction de la courbe (il faut la tracer à partir du point fixe) : 1er = 0m,0345 2e = 1m,080 3e = 0m,1747 4e = 0m,0558 5e = 0m,0354 6e = 0m,066 7e = 0m,0983 Le centre de gravité du spiral entier se trouve à 0mm,45 à droite du point O.	Elle est figurée par 0″, 1″, 2″, 3″, 4″, 5″, 6″, 7. Rayon des spires = 0m,155 Rayons de construction de la courbe : 1er = 0m,0361 2e = − 1m,680 3e = 0m,2206 4e = 0m,0599 5e = 0m,037 6e = 0m,0717 7e = 0m,1114 Le centre de gravité du spiral entier se trouve à 1mm,1 à droite du point O.	0‴, 1‴, 2‴, 3‴, 4‴, 5‴, 6‴, 7‴, représente l'autre courbe au maximum de déformation lorsque $\alpha = 5$.

FIGURE 2. — **Courbe non théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$). L = 8m,400.	COURBE AU MAXIMUM de déformation $\alpha = 5$, répondant à une rotation de 286° 1/2 à partir de la position naturelle.	COURBE au maximum de déformation en sens inverse $\alpha = -5$.	OBSERVATIONS.
Elle est figurée par 0, 1, 2, 3, 4. Rayon des spires = 0m,142. $\theta''_o = 195°$ $\delta = 1/2\ \rho_o = 0^m,071$ Rayons de construction de la courbe : 1er = 0m,0985 2e = 0m,1252 3e = 0m,0942 4e = 0m,089 Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h à 0mm,8 du centre O.	Elle est figurée par 0′, 1′, 2′, 3′, 4. Rayon des spires = 0m,131 Rayons de construction de la courbe (il faut la tracer à partir du point fixe) : 1er = 0m,093 2e = 0m,1165 3e = 0m,0892 4e = 0m,0845 Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h' à 0mm,1 du centre O′.	Elle est figurée par 0″, 1″, 2″, 3″, 4. Rayon des spires = 0m,155 Rayons de construction de la courbe : 1er = 0m,1046 2e = 0m,1352 3e = 0m,0998 4e = 0m,094 Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h'' à 3mm,8 du centre O″.	0‴, 1‴, 2‴, 3‴, 4‴, représente l'autre courbe extrême au maximum de déformation lorsque $\alpha = 5$.

FIGURE 3. — **Courbe théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$). L = 8m,400.	COURBE AU MAXIMUM de déformation $\alpha = 5$ répondant à une rotation de 286° 1/2 à partir de la position naturelle.	COURBE au maximum de déformation en sens inverse ($\alpha = -5$).	OBSERVATIONS.
Elle est figurée par 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6. Son centre de gravité est en G. Rayon des spires = 0m,142. $\theta''_o = 225°$ $\delta = 1/2\ \rho_o = 0^m,071$ Rayons de construction de la courbe : 1er = 0m,0605 2e = ∞ 3e = 0,090 4e = 0,063 5e = 0,075 6e = ∞	Elle est figurée par 0′, 1′, 2′, 3′, 4′, 5′, 6. Rayon des spires = 0m,131 Rayons de construction de la courbe (il faut la tracer à partir du point fixe) : 1er = 0m,0584 2e = 1m,680 3e = 1m,0851 4e = 0m,0607 5e = 0m,0718 6e = 1m,680 Le centre de gravité du spiral entier est à 0mm,6 du centre O.	Elle est figurée par 0″, 1″, 2″, 3″, 4″, 5″, 6. Rayon des spires = 0m,155. Rayons de construction de la courbe : 1er = 0m,0627 2e = — 1m,680 3e = 0m,095 4e = 0m,0654 5e = 0m,0785 6e = — 1m,680 Le centre de gravité du spiral entier est à 0mm,3 du centre O.	0‴, 1‴, 2‴, 4‴, 5‴, 6‴ représente l'autre courbe au maximum de déformation, lorsque $\alpha = -5$. On voit que son extrémité 6‴ aboutit juste sur la circonférence de la virole et la rencontre sous l'angle donné.

FIGURE 4. — **Courbe non théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$). $L = 8^m,400$.	COURBE au maximum de déformation de 286° 1/2 à partir de la position naturelle.	COURBE au maximum de déformation en sens inverse ($\alpha = -5$).	OBSERVATIONS.
Elle est figurée par 0, 1, 2, 3, 4. Rayon des spires $= 0^m,142$. $\theta_o'' = 225°$ $\delta = 1/2\ \rho_o = 0^m,071$ Rayons de construction de la courbe : $1^{er} = 0^m,112$ $2^e = 0^m,0845$ $3^e = 0^m,163$ $4^e = 0,0852$ Le centre de gravité du spiral entier se trouve au point h à $0^{mm},6$ au-dessus du centre O.	Elle est figurée par 0', 1', 2', 3' 4. Rayon des spires $= 0^m,131$ Rayons de construction de la courbe (il faut la tracer à partir du point fixe) : $1^{er} = 0^m,105$ $2^e = 0^m,0804$ $3^e = 0^m,1485$ $4^e = 0^m,0812$ Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h' à $0^{mm},3$ au-dessous du centre O'.	Elle est figurée par 0'', 1'', 2'', 3'', 4. Rayon des spires $= 0^m,155$. Rayons de construction de la courbe : $1^{er} = 0^m,120$ $2^e = 0^m,089$ $3^e = 0^m,1805$ $4^e = 0^m,0899$ Le centre de gravité du spiral entier se trouve au point h'' à $2^{mm},5$ au-dessus du centre O''.	0''', 1''', 2''', 3''', 4''' représente l'autre courbe au maximum de déformation lorsque $\alpha = -5$.

FIGURE 5. — **Courbe théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$). $L = 8^m,400$.	COURBE AU MAXIMUM de déformation $\alpha = 5$ répondant à une rotation de 286° 1/2 à partir de sa position naturelle.	COURBE au maximum de déformation en sens inverse ($\alpha = -5$).	OBSERVATIONS.
Elle est figurée par 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Son centre de gravité est en G. Rayon des spires $= 0^m,142$. $\theta_o'' = 255°$ $\delta = 1/2\ \rho_o = 0^m,071$ Rayons de construction de la courbe : $1^{er} = 0^m,0825$ $2^e = 0^m,1244$ $3^e = 0^m,1483$ $4^e = 0^m,1225$ $5^e = 0^m,091$ $6^e = 0^m,0675$ $7^e = 0^m,0972$	Elle est figurée par 0', 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7. Rayon des spires $= 0^m,131$. Rayons de construction de la courbe (il faut la tracer à partir du point fixe) : $1^{er} = 0^m,0786$ $2^e = 0^m,1158$ $3^e = 0^m,1362$ $4^e = 0^m,1142$ $5^e = 0^m,0863$ $6^e = 0^m,0649$ $7^e = 0^m,0919$ Le centre de gravité du spiral entier se trouve à $0^{mm},5$ du centre O.	Elle est figurée par 0'', 1'', 2'', 3'', 4'', 5'', 6'', 7. Rayon des spires $= 0^m,155$. Rayons de construction de la courbe : $1^{er} = 0^m,0867$ $2^e = 0^m,1343$ $3^e = 0^m,1626$ $4^e = 0^m,1321$ $5^e = 0^m,0962$ $6^e = 0^m,0702$ $7^e = 0^m,1032$ Le centre du spiral entier se trouve à $0^{mm},6$ à droite du centre O.	0''', 1''', 2''', 3''', 4''', 5''', 6''', 7''' représente l'autre courbe extrême au maximum de déformation lorsque $\alpha = 5$.

FIGURE 6. — **Courbe non théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$). $L = 8^m,400$.	COURBE AU MAXIMUM de déformation $\alpha = 5$ répondant à une rotation de 286° 1/2 à partir de sa position naturelle.	COURBE au maximum de déformation en sens inverse ($\alpha = -5$).	OBSERVATIONS.
Elle est figurée par 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6. Rayon des spires $= 0^m,142$. $\theta''_0 = 255°$ $\delta = 1/2\ \rho_0 = 0,071$ Rayons de construction de la courbe : $1^{er} = 0^m,0642$ $2^e = \infty$ $3^e = 0^m,1433$ $4^e = 0^m,0866$ $5^e = 0^m,0718$ $6^e = 0^m,096$ Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h à $0^{mm},3$ du centre O.	Elle est figurée par 0′, 1′, 2′, 3′, 4′, 5′, 6. Rayon des spires $= 0^m,131$. Rayons de construction de la courbe (il faut la tracer à partir du point fixe) : $1^{er} = 0^m,0618$ $2^e = 1^m,680$ $3^e = 0^m,132$ $4^e = 0^m,0823$ $5^e = 0^m,0688$ $6^e = 0,^m0,908$ Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h' à $2^{mm},6$ du centre O′.	Elle est figurée par 0″, 1″, 2″, 3″, 4″, 5″, 6. Rayon des spires $= 0^m,155$. Rayons de construction de la courbe : $1^{er} = 0^m,0667$ $2^e = -1^m,680$ $3^e = 0^m,1566$ $4^e = 0^m,0913$ $5^e = 0^m,075$ $6^e = 0^m,1018$ Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h' à $2^{mm},1$ du centre O″.	0‴, 1‴, 2‴, 3‴, 4‴, 5‴, 6‴ représente l'autre courbe extrême au maximum de déformation lorsque $\alpha = 5$).

FIGURE 7. — **Courbe théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$). $L = 8^m,400$.	COURBE AU MAXIMUM de déformation $\alpha = 5$ répondant à une rotation de 286° 1/2 à partir de sa position naturelle.	COURBE au maximum de déformation en sens inverse ($\alpha = -5$).	OBSERVATIONS.
Elle est figurée par 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6. Son centre de gravité est en G. Rayon des spires $= 0^m,142$. $\theta''_0 = 270°$ $\delta = 1/2\ \rho_0 = 0^m,071$ Rayons de construction de la courbe : $1^{er} = 0^m,0902$ $2^e = 0^m,1471$ $3^e = 0^m,1233$ $4^e = 0^m,0974$ $5^e = 0^m,076$ $6^e = 0^m,0932$	Elle est figurée par 0′, 1′, 2′, 3′, 4′, 5′, 6. Rayon des spires $= 0^m,131$. Rayons de construction de la courbe (il faut la tracer à partir du point fixe) : $1^{er} = 0^m,0856$ $2^e = 0^m,1352$ $3^e = 0^m,1148$ $4^e = 0^m,092$ $5^e = 0^m,0727$ $6^e = 0^m,0833$ Le centre de gravité du spiral entier se trouve à $0^{mm},3$ à droite du centre O.	Elle est figurée par 0″, 1″, 2″, 3″, 4″, 5″, 6. Rayon des spires $= 0^m,155$. Rayons de construction de la courbe : $1^{er} = 0^m,0953$ $2^e = 0^m,1612$ $3^e = 0^m,133$ $4^e = 0^m,1034$ $5^e = 0^m,0796$ $6^e = 0^m,0983$ Le centre de gravité du spiral entier se trouve à $0^{mm},6$ à droite du centre O.	0‴, 1‴, 2‴, 3‴, 4‴, 5‴, 6‴ représente l'autre courbe extrême au maximum de déformation lorsque $\alpha = 5$.

FIGURE 8. — **Courbe non théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$). L = 8m,400.	COURBE AU MAXIMUM de déformation à une rotation de 286° 1/2 à partir de sa position naturelle.	OBSERVATIONS.
Elle est figurée par 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6.	Elle est figurée par 0′, 1′, 2′, 3′, 4′, 5′, 6.	0′′′, 1′′′, 2′′′, 3′′′, 4′′′, 5′′′, 6′′′ représente l'autre courbe extrême au maximum de déformation lorsque $\alpha = 5$.
Rayon des spires = 0m,142. $\theta''_0 = 270°$ $\delta = 1/2\ \rho_0 = 0^m,071$	Rayon des spires = 0m,131	
Rayons de construction de la courbe : $1^{er} = 0^m,1014$ $2^e = 0^m,1315$ $3^e = 0^m,1512$ $4^e = 0^m,127$ $5^e = 0^m,0944$ $6^e = 0^m,0832$	Rayons de construction de la courbe (il faut la tracer à partir du point fixe) : $1^{er} = 0^m,0956$ $2^e = 0^m,122$ $3^e = 0^m,1387$ $4^e = 0^m,118$ $5^e = 0^m,0894$ $6^e = 0^m,0793$	Rayons de construction de la courbe : $1^{er} = 0^m,1079$ $2^e = 0^m,1433$ $3^e = 0^m,1662$ $4^e = 0^m,1374$ $5^e = 0^m,100$ $6^e = 0^m,0875$
Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h à 3mm,3 du centre O.	Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h' à 2mm,8 du centre O′.	Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h'' à 2mm,7 du centre O′′.

LÉGENDE DE LA PLANCHE III.

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

FIGURE 1. — **Courbe théorique.**

RAYONS DE COURBURE DE LA COURBE.		
Courbe naturelle $\alpha = 0$.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 5$ ou 286° 1/2.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -5$ ou 286° 1/2.
millim.	millim.	millim.
$1^{er} = 45,8$	$1^{er} = 44,5$	$1^{er} = 47$
$2^e = 93,3$	$2^e = 88,4$	$2^e = 98,8$
$3^e = 207,5$	$3^e = 184,7$	$2^e = 236,7$
$4^e = 79,3$	$4^e = 75,7$	$4^e = 83,2$
$5^e = \infty$	$5^e = 1^m,680$	$5^e = -1^m,680$

FIGURE 2. — **Courbe théorique.**

RAYONS DE COURBURE DE LA COURBE.		
Courbe naturelle $\alpha = 0$.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 5$ ou 286° 1/2.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -5$ ou 286° 1/2.
millim.	millim.	millim.
$1^{er} = 55$	$1^{er} = 53^{mm},2$	$1^{er} = 56^{mm},8$
$2^e = \infty$	$2^e = 1^m,680$	$2^e = -1^m,680$
$3^e = 55$	$3^e = 53^{mm},2$	$3^e = 56^{mm},8$
$4^e = \infty$	$4^e = 1^m,680$	$4^e = -1^m,680$

FIGURE 3. — **Courbe théorique.**

RAYONS DE COURBURE DE LA COURBE.		
Courbe naturelle $\alpha = 0$.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 5$ ou 286° 1/2.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -5$ ou 286° 1/2.
millim.		
$1^{er} = 38,5$	$1^{er} = 37^{mm},6$	$1^{er} = 65^{mm},3$
$2^e = \infty$	$2^e = 1^m,680$	$2^e = -1^m,680$
$3^e = 62,9$	$3^e = 60^{mm},6$	$3^e = 39^{mm},4$
$4^e = \infty$	$4^e = 1^m,680$	$4^e = -1^m,680$

FIGURE 4. — **Courbe théorique.**

RAYONS DE COURBURE DE LA COURBE.		
Courbe naturelle $\alpha = 0$.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 5$ ou 286° 1/2.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -5$ ou 286° 1/2.
millim.	millim.	millim.
$1^{er} = 55,1$	$1^{er} = 53,3$	$1^{er} = 56,9$
$2^e = 159,2$	$2^e = 145,4$	$2^e = 175,8$
$3^e = 136$	$3^e = 125,8$	$3^e = 148$
$4^e = 106,5$	$4^e = 100,1$	$4^e = 113,7$
$5^e = 76$	$5^e = 73,2$	$5^e = 79,6$
$6^e = \infty$	$6^e = 1^m,680$	$6^e = -1^m,680$

FIGURE 5. — **Courbe théorique.**

RAYONS DE COURBURE DE LA COURBE.		
Courbe naturelle $\alpha = 0$.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 5$ ou 286° 1/2.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -5$ ou $-$ 286° 1/2.
millim.		
$1^{er} = 71$	$1^{er} = 68^{mm},1$	$1^{er} = 74^{mm},1$
$2^{e} = \infty$	$2^{e} = 1^{m},680$	$2^{e} = -1^{m},680$
$3^{e} = 71$	$3^{e} = 68^{mm},1$	$3^{e} = 74^{mm},1$

FIGURE 6. — **Courbe théorique.**

RAYONS DE COURBURE DE LA COURBE.		
Courbe naturelle $\alpha = 0$.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 5$ ou 286° 1/2.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -5$ ou $-$ 286° 1/2.
millim.	millim.	millim.
$1^{er} = 49,5$	$1^{er} = 48$	$1^{er} = 51$
$2^{e} = 196$	$2^{e} = 175,5$	$2^{e} = 221,8$
$3^{e} = 49,5$	$3^{e} = 48$	$3^{e} = 51$

FIGURE 7. — **Courbe théorique.**

RAYONS DE COURBURE DE LA COURBE (DEMI-ELLIPSE).		
Courbe naturelle $\alpha = 0$.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -5$ ou $-$ 286° 1/2.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = +5$ ou + 286° 1/2.
millim.	millim.	millim.
$1^{er} = 49$	$1^{er} = 50,4$	$1^{er} = 47,6$
$2^{e} = 96,5$	$2^{e} = 102,3$	$2^{e} = 91,2$
$3^{e} = 129,3$	$3^{e} = 140$	$3^{e} = 120$
$4^{e} = 230$	$4^{e} = 266,4$	$4^{e} = 202,3$
$5^{e} = 129,3$	$5^{e} = 140$	$5^{e} = 120$
$6^{e} = 96,5$	$6^{e} = 102,3$	$6^{e} = 91,2$
$7^{e} = 49$	$7^{e} = 50,4$	$7^{e} = 47,6$

NOTA. Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.

FIGURE 8. — **Courbe théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$).	COURBE AU MAXIMUM de déformation $\alpha = 5$ répondant à une rotation de 286° 1/2 à partir de sa position naturelle.	COURBE au maximum de déformation ($\alpha = 5$) en sens inverse.	OBSERVATIONS.
Elle est figurée par 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. Son centre de gravité est en G.	Elle est figurée par 0′, 1′, 2′, 3′, 4′, 5′, 6′, 7′, 8.	Elle est figurée par 0″, 1″, 2″, 3″, 4″, 5″, 6″, 7″, 8″.	0‴, 1‴, 2‴, 3‴, 4‴, 5‴, 6‴, 7‴, 8‴ représente l'autre courbe extrême au maximum de déformation lorsque $\alpha = 5$.
Rayon des spires $= 0^{m},142$.	Rayon des spires $= 0^{m},131$.	Rayon des spires $= 0^{m},155$.	
Rayons de construction de la courbe :	Rayons de construction de la courbe (il faut la tracer à partir du point fixe) :	Rayons de construction de la courbe :	
mèt.	mèt.	mèt.	
$1^{er} = 0,0846$	$1^{er} = 0,0805$	$1^{er} = 0,0890$	
$2^{e} = 0,1545$	$2^{e} = 0,1415$	$2^{e} = 0,1700$	
$3^{e} = 0,1773$	$3^{e} = 0,1702$	$3^{e} = 0,1261$	
$4^{e} = 0,0340$	$4^{e} = 0,0890$	$4^{e} = 0,0995$	
$5^{e} = 0,0490$	$5^{e} = 0,0476$	$5^{e} = 0,0504$	
$6^{e} = 0,0633$	$6^{e} = 0,0610$	$6^{e} = 0,0657$	
$7^{e} = 0,0452$	$7^{e} = 0,0440$	$7^{e} = 0,0464$	
$8^{e} = 0,0345$	$8^{e} = 0,0338$	$8^{e} = 0,0352$	
	Le centre de gravité du spiral entier se trouve à $0^{mm},4$ au-dessus du centre o.	Le centre de gravité du spiral entier se trouve à $0^{mm},6$ à droite du centre o.	

FIGURE 9. — **Courbe non théorique.**

(Les dimensions indiquées dans ces trois légendes se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$).	COURBE AU MAXIMUM de déformation $\alpha = 5$ répondant à une rotation de 286° 1/2 à partir de sa position naturelle.	COURBE AU MAXIMUM de déformation $\alpha = 5$ répondant à une rotation de 286° 1/2 en sens inverse.	OBSERVATIONS.
Elle est figurée par 0, 1.	Elle est figurée par 0′, 1.	Elle est figurée par 0″, 1.	0″, 1″ représente l'autre courbe au maximum de déformation lorsque $\alpha = 5$.
Rayon des spires = 0m,142.	Rayon des spires = 0m,131.	Rayon des spires = 0m,155.	
Rayon de construction de la courbe = 0m,071.	Rayon de construction de la courbe = 0m,0681.	Rayon de construction de la courbe = 0m,0743.	
Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h à 2mm,3 du centre O.	Le centre de gravité du spiral entier se trouve en h' à 0mm,1 du centre O′.	Le centre de gravité du spiral entier se trouve à 0mm,3 du centre O″.	

FIGURE 10. — **Courbe théorique.**

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$).	COURBE AU MAXIMUM de déformation lorsque $\alpha = 5$ ou 286° 1/2 à partir de sa position naturelle.	COURBE au maximum de déformation en sens inverse $\alpha = -5$ ou $-$ 286° 1/2.
Elle est figurée par 0, 1, 2, 3, 4.	Elle est figurée par 0′, 1′, 2′, 3′, 4 (il faut la tracer à partir du point fixe).	Elle est figurée par 0″ 1″, 2″, 3″, 4.
$\delta = 0$.	Rayons de construction de la courbe :	Rayons de construction de la courbe :
Rayons de construction de la courbe :	1er = 0m,0649 2e = 0m,1452 3e = 0m,0678 4e = 0m,0496	1er = 0m,0702 2e = 0m,1756 3e = 0m,0738 4e = 0m,0529
1er = 0m,0675 2e = 0m,1590 3e = 0m,0707 4e = 0m,0512		

FIGURE 11. — **Courbe théorique.**

COURBE NATURELLE ($\alpha = 0$).	COURBE AU MAXIMUM de déformation $\alpha = 5$ ou 286° 1/2 à partir de sa position naturelle.	COURBE au maximum de déformation en sens inverse $\alpha = -5$ ou $-$ 286° 1/2.
Elle est figurée par 0, 1, 2, 3, 4.	Elle est figurée par 0′, 1′, 2′, 3′, 4.	Elle est figurée par 0″, 1″, 2″, 3″, 4.
Rayons de construction de la courbe :	Rayons de construction de la courbe :	Rayons de construction de la courbe :
1er = 0m,0485 2e = 0m,2480 3e = 0m,0295 4e = 0m,2123	1er = 0m,0471 2e = 0m,2161 3e = 0m,0291 4e = 0m,1884	1er = 0m,0499 2e = 0m,2909 3e = 0m,0300 4e = 0m,2431

LÉGENDE DE LA PLANCHE IV.

FIGURE 1. — **Forme théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

LONGUEUR DU SPIRAL = 5m,766.

(O, O′, O″ sont les centres de la virole dans les trois positions.)

Courbe naturelle ($\alpha = 0$) (tracé plein). — Rayons de construction de la courbe.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 0{,}5$ ou 28° 1/2 à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en petits traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur de chaque arc sur la demi-circonférence correspondante de la courbe naturelle.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -0{,}5$ ou $-$ 28° 1/2 à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en grands traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur de chaque demi-circonfér. de la courbe naturelle sur l'arc correspondant de la courbe de déformation.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1er = 0,14725	1er = 0,1454		1er = 0,1492	
2e = 0,14175	2e = 0,1400	0,0054	2e = 0,1435	0,0024
3e = 0,13625	3e = 0,1346	0,0051	3e = 0,1379	0,0051
4e = 0,13075	4e = 0,1293	0,0045	4e = 0,1322	0,0047
5e = 0,12525	5e = 0,1239	0,0042	5e = 0,1266	0,0043
6e = 0,11975	6e = 0,1185	0,0039	6e = 0,1200	0,0039
7e = 0,11425	7e = 0,1131	0,0036	7e = 0,1154	0,0036
8e = 0,10875	8e = 0,1078	0,0029	8e = 0,1098	0,0032
9e = 0,10325	9e = 0,1023	0,0028	9e = 0,1042	0,0021
10e = 0,09775	10e = 0,0969	0,0026	10e = 0,0986	0,0026
11e = 0,09225	11e = 0,0915	0,0023	11e = 0,930	0,0023
12e = 0,08675	12e = 0,0862	0,0020	12e = 0,8874	0,0020
13e = 0,08125	13e = 0,0807	0,0017	13e = 0,0818	0,0017
14e = 0,07575	14e = 0,0753	0,0015	14e = 0,0762	0,0015
15e = 0,07025	15e = 0,0698	0,0014	15e = 0,0707	0,0014
16e = 0,06475	16e = 0,0644	0,0011	16e = 0,0651	0,0011
17e = 0,05925	17e = 0,0589	0,0009	17e = 0,0595	0,0007
18e = 0,05375	18e = 0,0585	0,0007	18e = 0,0540	0,0007
19e = 0,04825	19e = 0,0480	0,0006	19e = 0,0985	0,0007
20e = 0,04275	20e = 0,0426	0,0004	20e = 0,0429	0,0004
21e = 0,03725	21e = 0,0371	0,0003	21e = 0,0373	0,0003

FIGURE 2. — **Forme théorique.**

Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

LONGUEUR DU SPIRAL = 5m,766.

(0, 0', 0'' sont les centres de la virole dans les trois positions.)

Courbe naturelle ($\alpha = 0$) (tracé plein). — Rayons de construction de la courbe.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 1.310$ ou 75° à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en petits traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur de chaque arc sur la demi-circonfér. correspondante de la courbe naturelle.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -1.310$ ou $-75°$ à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en grands traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur de chaque demi-circonfér. de la courbe naturelle sur l'arc correspondant de la courbe de déformation.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1er = 0,14725	1er = 0,1424		1er = 0,1521	
2e = 0,14175	2e = 0,1373	0,0140	2e = 0,1464	0,0146
3e = 0,13625	3e = 0,1322	0,0130	3e = 0,1406	0,0136
4e = 0,13075	4e = 0,1270	0,0118	4e = 0,1347	0,0124
5e = 0,12525	5e = 0,1218	0,0108	5e = 0,1289	0,0112
6e = 0,11975	6e = 0,1165	0,0102	6e = 0,1230	0,0104
7e = 0,11425	7e = 0,1113	0,0091	7e = 0,1173	0,0096
8e = 0,10875	8e = 0,1061	0,0083	8e = 0,1115	0,0086
9e = 0,10325	9e = 0,1008	0,0077	9e = 0,1059	0,0080
10e = 0,09775	10e = 0,0956	0,0067	10e = 0,1000	0,0070
11e = 0,09225	11e = 0,0903	0,0060	11e = 0,0942	0,0061
12e = 0,08675	12e = 0,0850	0,0053	12e = 0,0885	0,0057
13e = 0,08125	13e = 0,0797	0,0047	13e = 0,0827	0,0047
14e = 0,07575	14e = 0,0744	0,0041	14e = 0,0770	0,0041
15e = 0,07025	15e = 0,0691	0,0036	15e = 0,0714	0,0036
16e = 0,06475	16e = 0,0638	0,0031	16e = 0,0658	0,0031
17e = 0,05925	17e = 0,0584	0,0028	17e = 0,0600	0,0028
18e = 0,05375	18e = 0,0531	0,0020	18e = 0,0544	0,0020
19e = 0,04825	19e = 0,0477	0,0016	19e = 0,0487	0,0016
20e = 0,04275	20e = 0,0423	0,0012	20e = 0,0431	0,0012
21e = 0,03725	21e = 0,0369	0,0011	21e = 0,0376	0,0011

FIGURE 3. — **Forme théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

LONGUEUR DU SPIRAL = 5m,766.

(0, 0', 0'' sont les centres de la virole dans les trois positions.)

Courbe naturelle ($\alpha = 0$) (tracé plein). — Rayons de construction de la courbe.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 2.308$ ou 132° 1/4 à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en petits traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur de chaque arc sur la demi-circonfér. correspondante de la courbe naturelle.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -2.308$ ou $-132°1/4$ à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en grands traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur de chaque demi-circonfér. de la courbe naturelle sur l'arc correspondant de la courbe de déformation.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1er = 0,14725	1er = 0,1390		1er = 0,1564	
2e = 0,14175	2e = 0,1341	0,0240	2e = 0,1503	0,0268
3e = 0,13625	3e = 0,1292	0,0221	3e = 0,1441	0,0246
4e = 0,13075	4e = 0,1243	0,0204	4e = 0,1379	0,0224
5e = 0,12525	5e = 0,1191	0,0193	5e = 0,1318	0,0206
6e = 0,11975	6e = 0,1143	0,0171	6e = 0,1257	0,0187
7e = 0,11425	7e = 0,1092	0,0138	7e = 0,1197	0,0171
8e = 0,10875	8e = 0,1042	0,0143	8e = 0,1137	0,0155
9e = 0,10325	9e = 0,0991	0,0130	9e = 0,1077	0,0140
10e = 0,09775	10e = 0,0940	0,0117	10e = 0,1017	0,0124
11e = 0,09225	11e = 0,0889	0,0105	11e = 0,0957	0,0108
12e = 0,08675	12e = 0,0838	0,0092	12e = 0,0898	0,0096
13e = 0,08125	13e = 0,0787	0,0080	13e = 0,0839	0,0083
14e = 0,07575	14e = 0,0735	0,0070	14e = 0,0781	0,0074
15e = 0,07025	15e = 0,0683	0,0061	15e = 0,0723	0,0064
16e = 0,06475	16e = 0,0631	0,0052	16e = 0,0664	0,0051
17e = 0,05925	17e = 0,0578	0,0044	17e = 0,0606	0,0044
18e = 0,05375	18e = 0,0526	0,0036	18e = 0,0549	0,0036
19e = 0,04825	19e = 0,0473	0,0030	19e = 0,0492	0,0030
20e = 0,04275	20e = 0,0420	0,0023	20e = 0,0435	0,0023
21e = 0,03725	21e = 0,0366	0,0019	21e = 0,0378	0,0019

FIGURE 4. — **Forme non théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

LONGUEUR DU SPIRAL = 5^{m},320.

(0, 0′, 0″ sont les centres de la virole dans les trois positions.)

Courbe naturelle ($\alpha = 0$) (tracé plein). — Rayons de construction de la courbe.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 0{,}5$ ou 28° 1/2 à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en petits traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur de chaque arc sur la demi-circonfér. correspondante de la courbe naturelle.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 0{,}5$ ou 23° 1/2 à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en grands traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur de chaque demi-circonfér. de la courbe naturelle sur l'arc correspondant de la courbe de déformation.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1er = 0,14175	1er = 0,1400		1er = 0,1435	
2e = 0,13625	2e = 0,1346	0,0051	2e = 0,1379	0,0051
3e = 0,13075	3e = 0,1293	0,0045	3e = 0,1322	0,0047
4e = 0,12525	4e = 0,1239	0,0042	4e = 0,1266	0,0043
5e = 0,11975	5e = 0,1185	0,0039	5e = 0,1210	0,0039
6e = 0,11425	6e = 0,1131	0,0036	6e = 0,1154	0,0036
7e = 0,10875	7e = 0,1078	0,0029	7e = 0,1098	0,0032
8e = 0,10325	8e = 0,1023	0,0028	8e = 0,1042	0,0029
9e = 0,09775	9e = 0,0969	0,0026	9e = 0,0986	0,0026
10e = 0,09225	10e = 0,0915	0,0023	10e = 0,0930	0,0023
11e = 0,08675	11e = 0,0861	0,0020	11e = 0,0874	0,0020
12e = 0,08125	12e = 0,0807	0,0017	12e = 0,0818	0,0017
13e = 0,07575	13e = 0,07525	0,0015	13e = 0,0762	0,0015
14e = 0,07025	14e = 0,0698	0,0014	14e = 0,0707	0,0014
15e = 0,06475	15e = 0,0644	0,0011	15e = 0,0651	0,0011
16e = 0,05925	16e = 0,0589	0,0009	16e = 0,0595	0,0009
17e = 0,05375	17e = 0,0535	0,0007	17e = 0,0540	0,0007
18e = 0,04825	18e = 0,0480	0,0006	18e = 0,0485	0,0006
19e = 0,04275	19e = 0,0426	0,0004	19e = 0,0429	0,0004
20e = 0,03725	20e = 0,0371	0,0003	20e = 0,0373	0,0003

FIGURE 5. — **Forme non théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

LONGUEUR DU SPIRAL = 5^{m},320.

(0, 0′, 0″ sont les centres de la virole dans les trois positions.)

Courbe naturelle ($\alpha = 0$) (tracé plein). — Rayons de construction de la courbe.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 1^{m}$,310 ou 75° à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en petits traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur sur chaque demi-circonfér. de la courbe naturelle de l'arc correspondant de la courbe de déformation.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -1^{m}$,310 ou $-75°$ à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en grands traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur de chaque demi-circonfér. de la courbe naturelle sur l'arc correspondant de la courbe de déformation.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1er = 0,14175	1er = 0,13692		1er = 0,14680	
2e = 0,13625	2e = 0,13174	0,0149	2e = 0,141	0,0142
3e = 0,13075	3e = 0,12666	0,0135	3e = 0,13501	0,0127
4e = 0,12525	4e = 0,12148	0,0126	4e = 0,12924	0,0118
5e = 0,11975	5e = 0,11620	0,0112	5e = 0,12332	0,0112
6e = 0,11425	6e = 0,11102	0,0105	6e = 0,11760	0,0102
7e = 0,10875	7e = 0,10584	0,0095	7e = 0,11178	0,0091
8e = 0,10325	8e = 0,10056	0,0081	8e = 0,10616	0,0085
9e = 0,09775	9e = 0,09538	0,0075	9e = 0,10024	0,0074
10e = 0,09225	10e = 0,09010	0,0068	10e = 0,09442	0,0068
11e = 0,08675	11e = 0,08482	0,0061	11e = 0,08870	0,0061
12e = 0,08125	12e = 0,07954	0,0051	12e = 0,08288	0,0054
13e = 0,07575	13e = 0,07436	0,0044	13e = 0,07716	0,0046
14e = 0,07025	14e = 0,06898	0,0041	14e = 0,07154	0,0040
15e = 0,06475	15e = 0,06370	0,0037	15e = 0,06592	0,0033
16e = 0,05925	16e = 0,05832	0,0027	16e = 0,06010	0,0029
17e = 0,05375	17e = 0,05302	0,0023	17e = 0,05448	0,0022
18e = 0,04825	18e = 0,04766	0,0016	18e = 0,04876	0,0019
19e = 0,04275	19e = 0,04228	0,0012	19e = 0,04314	0,0015
20e = 0,03725	20e = 0,03990	0,0011	20e = 0,03762	0,0011

FIGURE 6. — **Forme non théorique.**

(Les dimensions indiquées se rapportent au tracé figuré sur la planche, mais supposé fait à une échelle cinq fois plus grande.)

LONGUEUR DU SPIRAL = 5m,320.

(0, 0', 0'', sont les centres de la virole dans les trois positions.)

Courbe naturelle ($\alpha = 0$) (tracé plein). — Rayons de construction de la courbe.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = 2.308$ ou 132° 1/4 à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en petits traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur de chaque arc sur la demi-circonfér. correspondante de la courbe naturelle.	Courbe de déformation lorsque $\alpha = -2.308$ ou $-132°1/4$ à partir de sa position naturelle (tracé pointillé en grands traits). Rayons de construction de la courbe.	Excédant de longueur de chaque demi-circonfér. de la courbe naturelle sur l'arc correspondant de la courbe de déformation.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1er = 0,14175	1er = 0,13353		1er = 0,15106	
2e = 0,13625	2e = 0,12866	0,0239	2e = 0,14482	0,027
3e = 0,13075	3e = 0,12379	0,0219	3e = 0,13858	0,0246
4e = 0,12525	4e = 0,11862	0,0208	4e = 0,13244	0,0226
5e = 0,11975	5e = 0,11385	0,0185	5e = 0,12630	0,0206
6e = 0,11425	6e = 0,10878	0,0172	6e = 0,12026	0,0189
7e = 0,10875	7e = 0,10381	0,0155	7e = 0,11492	0,0172
8e = 0,10325	8e = 0,09874	0,0142	8e = 0,10818	0,0155
9e = 0,09775	9e = 0,09367	0,0128	9e = 0,10214	0,0138
10e = 0,09225	10e = 0,08860	0,0115	10e = 0,09610	0,0121
11e = 0,08675	11e = 0,08385	0,0091	11e = 0,09016	0,0107
12e = 0,08125	12e = 0,07846	0,0085	12e = 0,08422	0,0093
13e = 0,07575	13e = 0,07329	0,0077	13e = 0,07838	0,0083
14e = 0,07025	14e = 0,06812	0,0067	14e = 0,07254	0,0072
15e = 0,06475	15e = 0,06295	0,006	15e = 0,06660	0,0058
16e = 0,05925	16e = 0,05768	0,0049	16e = 0,06076	0,0047
17e = 0,05375	17e = 0,05251	0,0039	17e = 0,05502	0,0040
18e = 0,04825	18e = 0,04724	0,0032	18e = 0,04928	0,0032
19e = 0,04275	19e = 0,04197	0,0027	19e = 0,04354	0,0025
20e = 0,03725	20e = 0,03660	0,002	20e = 0,03780	0,0017

LÉGENDE DE LA PLANCHE V.

Figure 1.

Spiral plat dont la construction est donnée par la légende de la pl. IV, fig. 2, mais avec une courbe finale théorique composée de deux quarts de cercle réunis par une ligne droite.

La déformation figurée répond à $\alpha = 3^m,0123$ ou 176° de rotation du balancier.

Figures 2 à 15.

Expériences de déformation faites sur des spiraux.

θ indique l'angle compris entre deux rayons partant du centre et aboutissant aux deux extrémités de la courbe extrême.

Le cercle tracé en plein représente la forme naturelle du spiral.

Les tracés en lignes ponctuées indiquent ce premier cercle du spiral, aux limites extrêmes de déformation correspondant à une rotation du balancier d'environ trois quarts de tour de part et d'autre de la position d'équilibre.

Les diamètres sont devenus sensiblement ce que le calcul avait indiqué.

La longueur du spiral était $1^m,600$ pour toute la planche sauf pour $\theta = 240°,225$ et la courbe théorique correspondant à $\theta = 225°$. Pour ces dernières figures, on avait coupé les bouts du spiral et la longueur était réduite à $1^m,48$.

Les points marqués sur les cercles sont ceux qui ont été obtenus en faisant l'expérience.

CHAPITRE II.

DES EXPÉRIENCES FAITES A L'APPUI DE LA THÉORIE PRÉCÉDENTE.

Je vais rendre compte des expériences que j'ai faites en vue de vérifier la théorie exposée dans le premier chapitre. On verra que l'accord a toujours été aussi parfait qu'il était permis de le désirer. Ces expériences ont porté sur deux objets principaux, savoir : la formule qui donne la durée des vibrations, puis l'influence de la forme des courbes extrêmes théoriques sur les déformations et sur l'isochronisme du spiral. Chacun de ces deux sujets a été vérifié de deux manières différentes. En premier lieu, la formule (8), qui exprime la durée des vibrations, a été appliquée à un certain nombre d'exemples réels. Puis, toutes choses égales d'ailleurs, on a vérifié la proportionnalité qu'indique la théorie entre la durée des vibrations et la racine quarrée de la longueur du spiral. Occupons-nous d'abord de la première vérification.

Le tableau suivant donne les résultats comparés de la théorie et de l'observation.

	CONSTRUCTEURS.	DURÉE D'UNE VIBRATION		NOMBRE DE VIBRATIONS par heure	
		par la théorie.	par l'observation.	par la théorie.	par l'observation.
Montre (spiral plat). . .	Lépine.	0″20151	0″200	17.865	17.770(a)
Chronomètre	M. Winnerl. . . .	0 2486	0 250	14.482	14.400
Chronomètre.	M. Paul Garnier.	0 2479	0 250	14.522	14.400
(N° 1) Spiral cylindrique de très-grandes dimensions (acier non homogène).	M. Paul Garnier.	1 196	1 211	3.010	2.973
(N° 2) Spiral cylindrique de très-grandes dimensions (acier non homogène).	M. Paul Garnier.	1 244	1 247	2.895	2.887
(N° 3) Spiral cylindrique de très-grandes dimensions (acier homogène, mais spiral n'ayant que 7 1/4 tours).	M. Paul Garnier.	1 127	1 120	3.195	3.214

(a) Avec la raquette, le nombre de vibrations est 18.000; mais il n'est que que de 17.770 la raquette enlevée.

Je vais maintenant donner en détail la manière de vérifier les calculs dont les résultats sont sur ce tableau. Excepté pour le chronomètre de M. Paul Garnier, tous les moments d'élasticité ont été déterminés non-seulement par les dimensions, mais aussi par l'expérience, ce qui était plus juste, à cause de la petitesse des sections transversales des fils d'acier. De plus, ces moments ont été obtenus par la flexion circulaire, ce qui est plus exact, puisque, dans ce cas, on rentre dans la théorie mathématique de l'élasticité. La formule que j'ai employée est

$$M = Q l' \left(\frac{L'^2}{2i} - \frac{i}{2} \right) - \frac{5PL'^3}{24i}.$$

Q est le poids suspendu à chaque extrémité du fil augmenté de la moitié du poids de la portion de fil qui dépasse de chaque côté les points d'appui ;

l' est cette longueur dont le fil dépasse de part et d'autre les points d'appui ;

L′ est la demi-distance des points d'appui ;

i est la flexion ;

P est le poids d'une longueur L′ du fil.

Dans cette formule, on tient compte non-seulement du poids du fil, mais de l'inclinaison des bras de levier sur lesquels agissent les poids Q.

Les moments d'inertie du balancier ont été obtenus en prenant ceux de toutes les parties séparément.

Voici maintenant les données qui se rapportent à chaque exemple.

Montre de Lépine. (Elle est à échappement, à cylindre.)

Données relatives à la détermination du moment d'élasticité.

On se rend compte de suite que dans cet exemple et les deux suivants, l'influence du poids du fil est tout à fait négligeable. On a eu

$$Q = 0^k,0005 ; \quad L' = 0^m,0124 ; \quad l' = 0^m,0175 ; \quad i = 0^m,0022 ;$$

d'où

$$M = 0,000000029\,6185.$$

Données relatives au calcul du temps T :

Largeur du fil $= 0^m,000132$

Épaisseur du fil $= 0^m,000054$

Les bouts de la section sont arrondis en demi-cercle.

Longueur du fil ou L = 0^m,15375

Le balancier est en laiton. Il se compose d'une couronne annulaire reliée à l'axe par trois rayons. Soient, pour la couronne : h son épaisseur, r_1 son rayon extérieur et r_0 son rayon intérieur. On a

$h = 0^m,000387$
$r_1 = 0^m,007675$
$r_0 = 0^m,006695$

Soient, pour chacun des trois rayons : h' son épaisseur et a' sa largeur. On a

$h' = 0^m,0002$
$a' = 0^m,000635$

J'ai pris pour densité du laiton le nombre 8,395.

J'ai ainsi trouvé pour moment d'inertie du balancier :

A = 0,000000000079263

Chronomètre de M. Winnerl.

Données relatives à la détermination du moment d'élasticité :

$Q = 0^k,0258$; $L' = 0^m,0124$; $l' = 0^m,00051$; $i = 0^m,9915$;

d'où

M = 0,00000065 46.

Données relatives au calcul du temps T :

Largeur du fil = $0^m,00050$
Épaisseur du fil = $0^m,0001974$
Longueur du L = $0^m,31895$

Le balancier est compensateur.

Il se compose :

1° D'un anneau bimétallique *aa* (Pl. I, *fig.* 11) ayant un tiers d'épaisseur d'acier et deux tiers d'épaisseur de laiton ;

2° De deux grosses masses compensantes, cylindriques, en laiton, M, M ;

3° De deux vis de réglage en laiton, V, V ;

4° De deux vis de masse en laiton, V', V' ;

5° D'une barrette en acier, BB ;

6° D'un petit disque en acier, D.

Les dimensions sont les suivantes :

Anneau.

Diamètre extérieur = $0^m,0277$
Hauteur. . . . . = $0^m,0035$
Épaisseur. . . . . = $0^m,000777$

Chacun des deux vides v est de $0^m,0021$.

Grosses masses, M, M :

Diamètre = $0^m,0077$
Hauteur = $0^m,0052$

Leur axe est au milieu de l'épaisseur de l'anneau.

Vis de réglage, V, V :

Diamètre = $0^m,003945$
Hauteur = $0^m,00210$

Vis de masse, V', V' :

Diamètre = $0^m,004095$
Hauteur = $0^m,002335$

Barrette :

Largeur = $0^m,002$
Épaisseur = $0^m,0005$

Petit disque :

Diamètre = $0^m,0055$
Épaisseur = $0^m,0015$

J'ai ainsi obtenu pour le moment d'inertie du balancier :

A = 0,000090128497 1

Je remarquerai ici en passant que si l'on avait déterminé le moment d'élasticité d'après les dimensions mêmes du fil, et en prenant 20.000.000.000 pour coefficient d'élasticité de l'acier, on aurait eu :

M = 0,00000641 0,

puis

T = $0^s,2512$ ou 14.330 vibrations par heure,

ce qui est encore excessivement approché.

Chronomètre de M. Paul Garnier.

Je n'ai pas pu déterminer le moment d'élasticité par l'expérience, n'ayant pas eu de fil à ma disposition. Mais ce moment a été obtenu d'après les dimensions transversales mesurées

avec le plus grand soin, à l'aide de micromètres très-précis et en prenant 20.000.000.000 pour coefficient d'élasticité.

Données :

Largeur du fil. . . . . = $0^m,00034$
Épaisseur du fil. . . . = $0^m,00018$
Longueur du fil ou L = $0^m,410$

On a eu $M = 0,000003588$

Le balancier compensateur se compose d'abord d'un anneau bimétallique ($\frac{1}{4}$ acier, $\frac{3}{4}$ laiton) divisé en trois segments correspondant à trois barrettes. Sur chaque segment est une masse compensante cylindrique en laiton, au bas de laquelle et sur son axe se trouve un petit cylindre de platine. A l'extrémité de chaque barrette est une vis de réglage aussi en platine. Enfin, sur l'axe du balancier, est un petit disque d'acier.

Les dimensions sont les suivantes :

Anneau.

Diamètre extérieur = $0^m,0264$
Hauteur. . . . . = $0^m,0032$
Épaisseur. . . . . = $0^m,0007$

Chacun des trois vides qui séparent les segments est de $0^m,001$.

Grosses masses compensantes :

Diamètre = $0^m,0045$
Hauteur = $0^m,0032$

Leur axe est au milieu de l'épaisseur de l'anneau.

Petits cylindres en platine :

Diamètre = $0^m,0019$
Hauteur = $0^m,0022$

Vis de réglage en platine :

Diamètre = $0^m,0019$
Hauteur = $0^m,0015$

Barrettes en acier :

Largeur = $0^m,002$
Épaisseur = $0^m,0007$

Disque d'acier :

Diamètre = $0^m,0035$
Épaisseur = $0^m,0007$

J'ai ainsi trouvé pour le moment d'inertie du balancier :

$A = 0,000000054482$

Grand spiral cylindrique de M. Garnier (n° 1).

L'acier n'étant pas homogène, j'ai cherché, par expérience, le moment d'élasticité sur deux bouts différents de fil. Pour tenir compte du poids du fil, j'en ai pesé $0^m,264$ dont le poids était $0^k,002505$.

Pour le premier bout de fil, on a eu

$Q = 0^k,015$; $L' = 0^m,065$; $l' = 0^m,0809$; $i = 0^m,0060$;
$M_1 = 0,00041773$.

Pour le second bout de fil, on a eu

$Q = 0^k,015$; $L' = 0^m,065$; $l' = 0^m,08775$; $i = 0^m,00675$;
$M_2 = 0,00040228$.

J'ai pris pour le moment d'élasticité la moyenne entre M_1 et M_2, soit

$M = 0,0004100$.

Les dimensions du fil sont :

Largeur du fil. . . . . = $0^m,0024$
Épaisseur du fil. . . . = $0^m,0005$ faible
Longueur du fil ou L = $1^m,304$

De même que pour les deux derniers spiraux, il n'y a pas d'échappement, l'appareil se composant uniquement d'un spiral et d'un balancier.

Le balancier est en laiton, dont la densité déterminée par l'expérience est 8,48. Il est formé d'une couronne annulaire reliée à l'axe par trois bras ou rayons.

Les dimensions sont les suivantes :

Anneau.

Diamètre extérieur = $0^m,136$
Largeur. . . . . = $0^m,007$
Épaisseur. . . . . = $0^m,00425$

Rayons.

Largeur = $0^m,0057$
Épaisseur = $0^m,00275$

En calculant, d'après cela, le moment d'inertie, on trouve

$A = 0,00004556$

Grand spiral cylindrique de M. Garnier (n° 2).

Ce spiral n'est autre chose que le précédent (n° 1) avant que celui-ci n'eût été raccourci. Le balancier est aussi le même. Il faut donc prendre les mêmes valeurs de M et de A. Seulement la longueur du spiral est

$$L = 1^{m},419$$

Il faisait 8 $\frac{1}{2}$ tours, plus les courbes extrêmes.

Grand spiral cylindrique de M. Garnier (n° 3).

Ce spiral a été fait avec de l'acier parfaitement homogène. C'est de l'acier fondu. De plus, il a été fabriqué exprès pour les expériences avec le plus grand soin. Il a été étiré et laminé pour assurer la parfaite régularité de sa section. Aussi plusieurs bouts éprouvés ont-ils donné exactement le même moment d'élasticité.

On a eu

$$Q = 0^{k},015; \quad L' = 0^{m},065; \quad l' = 0^{m},05875; \quad i = 0^{m},0031$$

Une longueur de $0^{m},264$ du fil pesait $0^{k},002505$.

On tire de là

$$M = 0,0005985$$

Les dimensions du fil sont :

Longueur du fil ou L = $1^{m},690$
Largeur du fil. . . . = $0^{m},0024$ faible ;
Épaisseur du fil. . . = $0^{m},0005$ fort.

Le spiral fait environ 7 $\frac{1}{4}$ tours de $0^{m},0658$ de diamètre, plus les courbes extrêmes.

Il a été adapté au même balancier que les deux précédents. On a donc encore

$$A = 0,00004556$$

Je passe aux expériences faites pour vérifier l'égalité, toutes choses égales d'ailleurs, entre le rapport de la durée des vibrations et celui des racines quarrées des longueurs.

Montre de M. Garnier.

Le spiral a une longueur totale de $0^{m},1645$.

Première observation. — On coupe un bout du spiral de $0^{m},045$, la nouvelle longueur est donc de $0^{m},1215$. La montre est mise à l'heure à $9^{h},34'$. Puis, quand l'heure réelle est midi 49′, elle marque $1^{h},22',13''$. Donc, pendant 195′, elle a marché de 228′,215; d'où

Rapport des temps . . . . . = 0,85444
Rapport des racines quarrées des longueurs = 0,8594

Deuxième observation. — On a coupé un autre bout = $0^{m},0365$, et la nouvelle longueur s'est trouvée de $0^{m},085$.

La montre est mise à l'heure à midi 41′. Puis, quand l'heure réelle est de $2^{h},21'$, elle marque $3^{h},2',30''$. Donc, pendant 100′, elle a marché de 141′,5 ; d'où

Rapport des temps. . . . . = 0,7067
Rapport des racines quarrées des longueurs. = 0,7188

Si l'on compare le spiral réduit à $0^{m},085$ avec ce qu'il était ayant $0^{m},1215$ de longueur, on a

Rapport des temps. . . . . = 0,8271
Rapport des racines quarrées des longueurs. = 0,8364

Les résultats sont, comme l'on voit, extrêmement rapprochés, et encore faut-il tenir compte : 1° de ce que la raquette du spiral n'avait pas été enlevée; 2° de ce que le spiral, surtout tellement raccourci, n'est pas dans les conditions de parfait isochronisme.

Montre de Lépine.

Le spiral a une longueur totale de $0^{m},15375$. On enlève la raquette, et sans raccourcir le spiral, on observe la marche comparée avec celle d'une pendule très-régulière. A cet effet, elle est mise à l'heure à $6^{h},30'$ du soir. Le lendemain matin, à $8^{h},29'$, la montre marque $8^{h},16'$. Donc pendant 839′ réelles, la montre a marché de 826′.

Première observation. — On coupe un bout de $0^{m},0325$, ce qui réduit la longueur du spiral à $0^{m},12125$.

On commence à observer à $6^{h},1'$ du soir (heure de la pendule), la montre avançant en ce moment de 1/10 de minute. Le lendemain matin, à $8^{h},22',2$, la montre marque $10^{h},4'$. Donc pendant 861′,2 de la pendule, la montre a marché de 962′,9, et pendant ce temps la montre avec la longueur primitive du spiral eût marché de $\frac{826}{839} \times 861',2$;

d'où

Rapport des temps. . . . . = 0,8805
Rapport des racines quarrées des longueurs. = 0,8880

Deuxième observation. — On coupe encore un bout de $0^m,03075$, ce qui réduit la longueur à $0^m,0905$.

La montre est mise d'accord avec la pendule à $2^h,8$ après midi. Le lendemain matin, à $8^h,22',33$, elle marque juste 2^h. Donc pendant $1.094',33$ de la pendule, la montre a marché de $1.432'$, et pendant ce même temps, la montre, avec la longueur primitive du spiral, eût marché de $\frac{826}{839} \times 1.094',33$;

d'où

Rapport des temps. . . . . = 0,7524
Rapport des racines quarrées des longueurs. = 0,7672

Si l'on compare le spiral réduit à $0^m,0905$ avec ce qu'il était ayant $0^m,12125$ de longueur, on a

Rapport des temps. . . . . = 0,8545
Rapport des racines quarrées des longueurs. = 0,8639

Quand le spiral a été démonté, on a observé qu'il avait été gratté, ainsi que cela se pratique quelquefois pour le réglage, sur une certaine longueur. J'ai fait mettre un nouveau spiral que j'ai observé.

Montre de Lépine (avec le nouveau spiral).

La longueur totale du spiral est de $0^m,1524$. Sans rien en retrancher, on commence à observer à 2 heures juste (heure de la pendule). A ce moment, la montre retarde de 1/10 de minute. Le lendemain matin, à $8^h,18'$, la montre marque $6^h,54'$. Donc pendant $1.098'$ de la pendule, la montre a marché de $994',1$.

Première observation. — On coupe un bout de spiral de $0^m,0320$, ce qui réduit la longueur à $0^m,1204$.

On commence à observer à midi $38',9$ (heure de la pendule). A ce moment, la montre marque midi $38'$. Le surlendemain matin, à $8^h,43'$, la montre accuse $9^h,23',75$. Donc pendant $2.644',1$ de la pendule, la montre a marché de $2.685',75$, et pendant ce même temps, la montre, avec la longueur primitive du spiral, eût marché de $\frac{994,1}{109,8} \times 2.644',1$;

d'où

Rapport des temps. . . . . = 0,8913
Rapport des racines quarrées des longueurs. = 0,8889

Deuxième observation. — On a coupé un autre bout de $0^m,0309$, ce qui réduit la longueur du spiral à $0^m,0895$.

La montre est mise à l'heure de la pendule à midi $49'$.

Le lendemain matin, à $8^h,32'$ (heure de la pendule), la montre marque $11^h,51',75$. Donc pendant $1.183'$ de la pendule, la montre a marché de $1.382',75$, et pendant ce même temps, la montre, avec la longueur primitive du spiral, eût marché de $\frac{994,1}{1098} \times 1.183'$; d'où

Rapport des temps. . . . . = 0,7746
Rapport des racines quarrées des longueurs. = 0,7663

Si l'on compare le spiral réduit à $0^m,0895$ avec ce qu'il était ayant $0^m,1204$ de longueur, on a

Rapport des temps. . . . . = 0,8691
Rapport des racines quarrées des longueurs. = 0,8622

Grands spiraux de M. Paul Garnier.

Ces appareils ont été montrés, au sujet de cette expérience, à la séance générale de la société des horlogers, du 17 février 1861.

Ce sont de grands spiraux cylindriques, à courbes théoriques, montés sur des balanciers égaux. Ils sont formés du même acier, ayant rigoureusement les mêmes dimensions transversales, mais leurs longueurs diffèrent. Les observations ont été faites par M. Rozé, membre de la société.

Comme il n'y a pas d'échappement, on a opéré en comptant exactement, pour chacun d'eux, le temps employé pour effectuer 300 oscillations.

Pour le premier, dont la longueur totale est de $1^m,6855$, ce temps a été de 244 secondes.

Pour le second, ayant une longueur de $1^m,3816$, la durée des 300 oscillations a été de $220'',6$. Donc

Rapport des temps. . . . . = 0,904
Rapport des racines quarrées des longueurs. = 0,905

Spiraux construits par M. Rozé.

M. Rozé a aussi construit des spiraux pour répéter cette expérience. Ils sont montés sur des balanciers égaux. Ils sont for-

més du même fil d'acier à spiraux; seulement l'un a une longueur de 1 mètre et l'autre de $0^m,810$. Leurs courbes terminales sont théoriques et du type qui se compose d'une demi-ellipse. On a compté exactement, pour chacun d'eux, le nombre d'oscillations effectuées en 5 minutes. On a trouvé ainsi :

Pour le premier. . . . . 293 oscillations,
Et pour le second. . . . . 326 oscillations;

d'où

Rapport des temps. . . . . = 0,8988
Rapport des racines quarrées des longueurs. = 0,9000

On peut donc regarder cette loi comme tout à fait exacte.

Je passe maintenant aux expériences relatives à la déformation du spiral et à l'influence que la forme des courbes extrêmes exerce sur celle-ci.

Je commence par rappeler que, dans la pratique (tout à fait d'accord avec ma théorie), on cherche toujours à faire en sorte que le spiral se déforme uniformément et cylindriquement autour de l'axe. Voici, de plus, des citations de divers ouvrages qui le confirment surabondamment.

En premier lieu, ces principes ont été mis en avant par F. Berthoud (voir la fin du premier chapitre de ce mémoire, articles 162 et 163). Il dit que, pour que l'action du spiral se communique au balancier avec le moins de perte et sans causer de frottement aux pivots du balancier, il faut que le mouvement du spiral se fasse sans déplacer l'axe du balancier et qu'il ait dans son mouvement un centre commun avec celui-ci.

Voici maintenant un extrait du *Traité d'horlogerie* de Moinet, ancien président de la société chronométrique de Paris (1855). On y lit (t. I, p. 92) :

« L'isochronisme des vibrations ne se trouve que dans les spiraux dont les tours sont nombreux et par suite plus serrés; ils s'ouvrent et se ferment ainsi plus concentriquement et ne tendent que faiblement à porter les pivots vers un côté quelconque de leurs trous, etc. »

On lit dans le même ouvrage (t. II, p. 424) :

« En raccourcissant un spiral trop long, il convient d'en ramener les deux extrémités vers le centre par une courbe adoucie et formée peu à peu au moyen de pinces à spiraux chauffées convenablement et qu'on laisse même refroidir dans leur action, afin que la lame conserve sa courbure. Celle-ci emploie un demi-tour et même trois quarts de tour pour se rapprocher du centre à environ la moitié du rayon des autres tours concentriques, etc. La courbure des extrémités du spiral a pour but de le faire développer plus cylindriquement, et d'éviter qu'il ne se jette de côté dans les vibrations, ce qui changerait l'équilibre de l'ensemble, la distribution de sa puissance et même l'isochronisme des arcs de diverses étendues, etc. »

Dans le *Traité des échappements* de Claudius Saunier (1855), ancien directeur de l'École d'horlogerie de Mâcon, on lit (p. 137) :

« Plus un spiral est long, plus il est propre à donner l'isochronisme des vibrations et moins il occasionne de frottements aux pivots du balancier, son travail se faisant bien plus concentriquement à ces pivots qu'avec un spiral court qui les repousse plus fortement contre les parois des trous. »

Dans le même ouvrage (p. 296), on lit :

« Deux écoles, si nous pouvons parler ainsi, se sont formées à propos de l'isochronisme du spiral : l'ancienne qui cherche l'isochronisme dans la seule longueur de la lame; la nouvelle qui le trouve, et plus facilement que l'ancienne, dans la longueur combinée avec la forme, c'est-à-dire par les courbes qui terminent cette lame. » Et plus loin, p. 300, on lit :

« Les courbes intérieures et extérieures, ainsi que nous l'avons déjà recommandé à propos de l'échappement Duplex, doivent être faites avec beaucoup de soin; c'est en grande partie à la forme de ces courbes que le spiral doit son développement régulier, et de n'être pas jeté de côté par les grandes vibrations. L'observation constante du jeu des spiraux, après avoir préalablement étudié leur forme, et des essais faits avec intelligence, apprennent à l'ouvrier quelles sont les courbures qui régularisent le mieux ce développement. »

On lit encore dans le journal *la Tribune chronométrique* (numéro du 15 janvier 1851), p. 17 :

« Les artistes doivent s'attacher particulièrement à bien faire les courbes concentriques des deux extrémités du spiral qui doivent entrer, l'une dans la virole du balancier, et l'autre dans le piton fixé sur le coq; car c'est de cette courbure que dépend en partie l'uniformité de durée dans les grands comme

dans les petits arcs du balancier, et c'est là, comme nous l'avons dit, ce qui constitue l'isochronisme. »

On remarquera que tous ces principes généraux, qui sont éclos pour ainsi dire de l'expérience et de la pratique, sont une conséquence directe de ma théorie.

Pour vérifier expérimentalement l'influence des courbes extrêmes que donne cette théorie sur la déformation du spiral, j'ai fait faire, par M. Paul Garnier, des spiraux d'un très-grand diamètre. On leur a donné des courbes extrêmes théoriques, puis des courbes quelconques, afin de juger de la différence. La Pl. V, *fig.* 2 à 15 inclusivement, montre le résultat des déformations qui ont été relevées. Chaque cercle a été obtenu au moyen de quatre ou cinq points. Le cercle en trait plein indique le spiral en équilibre ; les cercles, en pointillé, montrent ce qu'il est devenu dans les déformations extrêmes. Or on voit que, avec les courbes terminales théoriques, les trois cercles sont toujours restés bien concentriques, et qu'il s'en faut de beaucoup qu'il en soit ainsi avec les courbes quelconques. Il y a, comme on voit, sept exemples de chaque espèce.

Les numéros écrits sur les cercles indiquent les points qui ont été relevés pour les tracer. De plus, j'ai encore entre les mains un certain nombre d'appareils construits par M. Paul Garnier et où le fait est de la plus grande évidence.

Voici maintenant les expériences que j'ai faites en vue de constater l'influence des courbes extrêmes théoriques sur l'isochronisme. Je me suis servi d'une balance élastique, dont la balance pesait à 1 milligramme près. Avec cet appareil, je mesurais les forces nécessaires pour maintenir le balancier à un angle déterminé d'écartement de sa position initiale, et je vérifiais la proportionnalité entre ces forces et les angles d'écartement. On voit que c'est le procédé de F. Berthoud, mais avec un instrument très-précis.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE. — *Spiral avec courbes extrêmes théoriques, mais n'ayant que 7 1/4 tours.*

ANGLES.	FORCE en grammes.	PERTE D'ANGLE par la déformation permanente.	FORCE RAMENÉE à 22° 1/2 par la proportion des angles.
degrés	grammes	degrés	grammes
22 1/2	1,542	0	1,542
45	3,084	0	1,542
67 1/2	4,620	0,1	1,5423
90	6,150	0,166	1,5404
135	9,222	0,2	1,5393
180	12,305	0,26	1,5404
225	15,360	0,35	1,5384
270	18,440	0,6	1,5401

On voit, par la 4e colonne, que la proportionnalité est aussi près d'être satisfaite que possible, et cependant il faut tenir compte de ce que le spiral n'a que 7 1/4 tours et qu'il y avait quelques légers frottements.

Voici une seconde expérience faite avec un spiral à peu près de même longueur, mais néanmoins un peu plus long, et où les courbes extrêmes ont été faites à dessein éloignées des conditions théoriques.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE. — *Spiral de 8 tours avec courbes non théoriques.*

ANGLES.	FORCE en grammes.	PERTE D'ANGLE par la déformation permanente.	FORCE RAMENÉE à 22°1/2 par la proportion des angles.
degrés	grammes	degrés	grammes
22 1/2	1,500	0	1,500
45	2,983	0	1,4915
67 1/2	4,461	0	1,4870
90	5,930	0,05	1,4833
135	8,875	0,15	1,4808
180	11,845	0,20	1,4823
225	14,807	0,27	1,4825
270	17,820	0,50	1,4878

Il suffit de comparer la 4e colonne de ce tableau avec celle de l'expérience précédente pour voir de suite que la loi de proportionnalité y est beaucoup moins bien satisfaite.

Voici deux autres exemples qui se rapportent à des spiraux faits avec de l'acier peu homogène et qui n'avaient que 4 tours. L'un avait ses courbes extrêmes construites théoriquement et l'autre, pas.

TROISIÈME EXPÉRIENCE. — *Spiral de 4 tours (acier peu homogène et de mauvaise qualité) avec courbes extrêmes théoriques.*

ANGLES.	FORCE en grammes.	PERTE D'ANGLE par la déformation permanente.	FORCE RAMENÉE à 22° 1/2 par la proportion des angles.
degrés	grammes	degrés	grammes
22 1/2	1,542	0,3	1,5628
45	3,092	0,4	1,5600
90	6,215	0,5	1,5624
180	12,472	0,6	1,5642
270	18,581	2,2	1,5611

On voit que la proportionnalité est encore très-près d'être satisfaite.

QUATRIÈME EXPÉRIENCE. — *Spiral de 4 tours (acier peu homogène et de mauvaise qualité) avec courbes extrêmes non théoriques.*

ANGLES.	FORCE en grammes.	PERTE D'ANGLE par la déformation permanente.	FORCE RAMENÉE à 22° 1/2 par la proportion des angles.
degrés	grammes	degrés	grammes
22 1/2	1,569	0,1	1,5760
45	3,150	0,2	1,5820
90	6,271	0,4	1,5747
180	12,475	0,6	1,5646
270	18,780	0,9	1,5703

On voit que, malgré la mauvaise qualité de l'acier et le petit nombre de tours, le spiral précédent offre presque la proportionnalité et que celui-ci s'en éloigne beaucoup.

Les quatre expériences suivantes ont porté sur les spiraux de la première et de la deuxième expériences; mais elles étaient intéressantes, parce que les frottements ayant été encore diminués, le spiral à courbes théoriques a toujours présenté un grand avantage sur l'autre.

CINQUIÈME EXPÉRIENCE. — *Spiral de la première expérience à courbes théoriques, mais les frottements du balancier diminués.*

ANGLES.	FORCE en grammes.	PERTE D'ANGLE par la déformation permanente.	FORCE RAMENÉE à 22° 1/2 par la proportion des angles.
degrés	grammes	degrés	grammes
22 1/2	1,538	0	1,5380
45	3,076	0	1,5380
67 1/2	4,611	0,05	1,5381
90	6,132	0,25	1,5375
135	9,219	0,17	1,5384
180	12,286	0,40	1,5390
225	15,366	0,37	1,5390
270	18,470	0,45	1,5417

On voit que la proportionnalité est extrêmement approchée. Pour 270°, il y a eu un léger écart, mais il est probable que le spiral s'était un peu excentré, ainsi que cela a été constaté dans des circonstances analogues.

SIXIÈME EXPÉRIENCE. — *Spiral de la deuxième expérience (courbes quelconques), mais avec le balancier de la cinquième expérience.*

ANGLES.	FORCE en grammes.	PERTE D'ANGLE par la déformation permanente.	FORCE RAMENÉE à 22° 1/2 par la proportion des angles.
degrés	grammes	degrés	grammes
22 1/2	1,500	0	1,500
45	3,002	0,05	1,5027
67 1/2	4,489	0	1,4963
90	5,967	0,05	1,4926
135	8,938	0,05	1,4902
180	11,906	0,125	1,4893
225	14,866	0,23	1,4881
270	17,872	0,25	1,4907

On voit que la proportionnalité est bien moins approchée que dans l'expérience précédente.

SEPTIÈME EXPÉRIENCE. — *Spiral de la première expérience (courbes théoriques), mais avec un balancier plus petit et où les frottements ont été très-réduits.*

ANGLES.	FORCE en grammes.	PERTE D'ANGLE par la déformation permanente.	FORCE RAMENÉE à 22° 1/2 par la proportion des angles.
degrés	grammes	degrés	grammes
22 1/2	1,565	0	1,5650
45	3,130	0	1,5650
67 1/2	4,692	0,05	1,5651
90	6,261	0	1,5652
135	9,381	0,143	1,5652
180	12,500	0,333	1,5654
225	15,640	0,10	1,5647
270	18,757	0,20	1,5643

On voit ici combien la proportionnalité est approchée.

HUITIÈME EXPÉRIENCE. — *Spiral de la deuxième expérience (courbes quelconques), mais avec le balancier de la septième expérience.*

ANGLES.	FORCE en grammes.	PERTE D'ANGLE par la déformation permanente.	FORCE RAMENÉE à 22° 1/2 par la proportion des angles.
degrés	grammes	degrés	grammes
22 1/2	1,507	0,05	1,5103
45	3,024	0,10	1,5153
67 1/2	4,538	0,10	1,5149
90	6,055	0,143	1,5161
135	9,073	0,25	1,5150
180	12,106	0,333	1,5160
225	15,146	0,500	1,5180
270	18,198	0,500	1,5193

On voit que le spiral de la septième expérience a toujours un grand avantage sur celui de la huitième.

Les usages nombreux que l'on peut faire de la théorie précédente dans la pratique sont tous compris dans la formule qui donne la durée des vibrations, dans celle qui indique les allongements du métal et dans les formes des courbes extrêmes que j'ai indiquées pour le spiral.

Je vais les passer rapidement en revue.

La formule (8) est, comme on sait,

$$T = \pi\sqrt{\frac{AL}{M}}.$$

Construction d'un régulateur.

Dans l'application, le balancier bat toujours, soit cinq, soit quatre vibrations par seconde et quelquefois six. Dans le premier cas, $T = 0{,}20$, et l'on a

$$0{,}20 = \pi\sqrt{\frac{AL}{M}},$$

et l'on déduit, en remplaçant π par sa valeur

(84) $$AL = 0{,}00405\,28\,M.$$

Dans le second cas, celui de quatre vibrations par seconde, on a $T = 0{,}25$, et

$$0{,}25 = \pi\sqrt{\frac{AL}{M}},$$

d'où

(85) $$AL = 0{,}00633\,25\,M.$$

Enfin, dans le troisième cas, on a $T = 0{,}1666$, et

(86) $$AL = 0{,}00281\,45\,M.$$

Les trois formules (84), (85), (86) expriment la relation très-simple qui existe, dans chaque cas, entre le moment d'inertie du balancier, la longueur du spiral et le moment d'élasticité de celui-ci.

Le calcul fournit le moyen d'obtenir rigoureusement le moment d'inertie A du balancier. Dans certains cas, quand sa masse est presque entièrement distribuée sur sa circonférence et qu'on n'a pas besoin d'une précision mathématique, on peut se borner à prendre

$$A = \frac{Pr^2}{9{,}80896},$$

P étant le poids du balancier rapporté au kilogramme et r son rayon.

Calcul des vibrations d'un spiral et d'un balancier donnés.

Inversement, si l'on voulait savoir *à priori* quel sera le nombre de vibrations que feront un spiral et un balancier donnés, le problème sera le même; seulement il faut se servir de la formule $T = \pi\sqrt{\frac{AL}{M}}$.

En appelant N le nombre de vibrations par heure, on aura

$$N = \frac{3.600}{\pi}\sqrt{\frac{M}{AL}},$$

ou, en remplaçant π par sa valeur,

$$N = 1145{,}9\sqrt{\frac{AL}{M}}. \qquad (87)$$

Du réglage.

Les notions précédentes peuvent être utiles pour le réglage, et particulièrement celle de la proportionnalité entre la durée des vibrations et la racine quarrée de la longueur du fil.

De l'allongement proportionnel de l'acier dans un spiral.

J'ai donné, dans le premier chapitre, l'expression exacte de cet allongement. On en déduit cette règle pratique très-simple qu'il ne faut pas que le rapport de l'épaisseur du fil à sa longueur dépasse la valeur de ce même rapport pour des appareils bien établis dans lesquels le balancier fait des oscillations de même grandeur.

A cet égard, voici quelques nombres. En appelant e l'épaisseur du fil et L sa longueur, on trouve :

Pour un chronomètre de M. Winnerl,

$$e = 0{,}0006189\,L;$$

Pour un chronomètre de M. Garnier,

$$e = 0{,}0004590\,L;$$

Pour une ancienne montre de Lépine,

$$e = 0{,}0003512\,L.$$

Ce dernier nombre paraît un peu faible; car, dans les montres, les oscillations du balancier ont beaucoup moins d'amplitude que dans les chronomètres.

De la forme du spiral.

On a vu précédemment les conditions que doit remplir la forme du spiral.

Quand il s'agit du spiral plat, il faut que son centre de gravité soit sur l'axe du balancier, et il est préférable qu'il soit à courbe ramenée.

Pour le spiral cylindrique, j'ai réuni sur la Pl. I, *fig.* 13 à 24 inclusivement, un certain nombre d'exemples de courbes extrêmes théoriques dans des conditions très-diverses. La plupart ont été expérimentées et ont toujours donné les déformations que l'on cherche à obtenir dans la pratique.

Parmi les constructeurs qui ont bien voulu me demander communication de mes courbes, M. Jacob, chronométrier très-connu de Dieppe, m'a informé qu'un des types que je lui avais remis se trouvait être identique avec une forme de courbe à laquelle il avait été conduit par tâtonnements, il y a une douzaine d'années, et qu'il avait appliquée à un certain nombre d'appareils qu'il avait livrés à la marine. Quoique les spiraux n'eussent guère que six tours, ils avaient très-bien fonctionné; les appareils avaient satisfait à toutes les épreuves imposées par l'État, et, après plusieurs années de service, leur marche, qu'il avait relevée, était encore très-bonne. C'est le type représenté à une grande échelle, Pl. II, *fig.* 5, et en petit, Pl. I, *fig.* 17.

Voici un autre fait. M. Garnier, horloger de la marine, m'ayant prié de lui faire, d'après la théorie, un tracé de courbe extrême pour spiral plat ramené dans des conditions données, celle que je lui ai remise s'est trouvée coïncider, à une différence insignifiante près, avec celle que les résultats d'une longue expérience lui avaient indiqué comme étant la plus convenable.

NOTE (1)

Pour faire voir que, dans les circonstances que présente le problème actuel, les principes sur lesquels est fondée sa solution et qui rentrent dans la théorie de l'axe neutre, sont non-seulement parfaitement d'accord avec l'expérience, mais avec la théorie mathématique de l'élasticité.

J'appelle ligne neutre le lieu géométrique des centres de gravité de toutes les sections transversales, ce lieu étant une courbe quelconque, mais que je suppose plane, en négligeant, pour le spiral cylindrique, la très-faible inclinaison des spires. J'admets que toutes les sections transversales sont égales et qu'elles sont partagées symétriquement par un plan, que j'appellerai plan horizontal, passant par la ligne neutre.

J'imagine que, sans changer la longueur de la ligne neutre,

(1) Cette démonstration est une extension de celle que M. de Saint-Venant a appliquée à l'équilibre d'une poutre droite sollicitée par un couple.

et tout en satisfaisant aux conditions de position et d'inclinaison assignées à ses deux extrémités, on déforme celle-ci dans son plan, d'après la loi $\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} =$ constante, r_0 et r étant les rayons de courbure en un quelconque de ses points : le premier avant la déformation et le second après. On a vu précédemment qu'il est possible de satisfaire géométriquement à cette condition en donnant aux courbes extrêmes une forme déterminée.

Je vais faire voir maintenant qu'il existe des forces extérieures capables de maintenir le spiral en équilibre dans cet état de déformation, et en même temps je vais chercher la valeur de ces forces.

Pour cela, je rappelle d'abord les équations de l'élasticité.

En premier lieu, en négligeant la pesanteur, on a, pour tous les points du solide, supposé homogène et d'élasticité constante, les trois équations aux différences partielles du second ordre

$$(I)\begin{cases} (\lambda+2\mu)\dfrac{d^2u}{dx^2}+\mu\dfrac{d^2u}{dy^2}+\mu\dfrac{d^2u}{dz^2}+(\lambda+\mu)\dfrac{d^2v}{dxdy}+(\lambda+\mu)\dfrac{d^2w}{dxdz}=0 \\ \mu\dfrac{d^2v}{dx^2}+(\lambda+2\mu)\dfrac{d^2v}{dy^2}+\mu\dfrac{d^2v}{dz^2}+(\lambda+\mu)\dfrac{d^2u}{dxdy}+(\lambda+\mu)\dfrac{d^2w}{dydz}=0 \\ \mu\dfrac{d^2w}{dx^2}+\mu\dfrac{d^2w}{dy^2}+(\lambda+2\mu)\dfrac{d^2w}{dz^2}+(\lambda+\mu)\dfrac{d^2u}{dxdz}+(\lambda+\mu)\dfrac{d^2v}{dydz}=0 \end{cases}$$

Dans ces équations, u, v, w sont les projections, sur les axes des x, des y et des z, du déplacement moléculaire du point dont les coordonnées sont x, y et z.

En outre, pour tous les points de la surface extérieure, on a trois équations aux différences partielles du premier ordre. Ainsi, soient X, Y et Z les composantes, parallèles aux axes coordonnés de la force extérieure rapportée à l'unité de surface, agissant sur un élément quelconque de celle-ci; soient m, n, p les cosinus des angles que fait la normale à la surface en ce point avec les mêmes axes.

Soient, d'autre part, N_1, T_3, T_2 les composantes, parallèles aux axes des x, des y et des z, de la force rapportée à l'unité superficielle, pour un élément plan du corps, perpendiculaire à l'axe des x;

T_3, N_2, T_1 les composantes, parallèles aux x, aux y et aux z, pour un élément perpendiculaire à l'axe des y;

T_2, T_1, N_3 les composantes, parallèles aux x, aux y et aux z pour un élément perpendiculaire à l'axe des z.

On a

$$(II)\begin{cases} mN_1+nT_3+pT_2=X; \\ mT_3+nN_2+pT_1=Y; \\ mT_2+nT_1+pN_3=Z. \end{cases}$$

Les forces N_1, N_2, N_3, T_1, T_2, T_3, ayant les valeurs qui conviennent au point considéré de la surface. D'ailleurs, on a, d'une manière générale,

$$(III)\begin{cases} N_1=(\lambda+2\mu)\dfrac{du}{dx}+\lambda\dfrac{dv}{dy}+\lambda\dfrac{dw}{dz}; \\ N_2=(\lambda+2\mu)\dfrac{dv}{dy}+\lambda\dfrac{du}{dx}+\lambda\dfrac{dw}{dz}; \\ N_3=(\lambda+2\mu)\dfrac{dw}{dz}+\lambda\dfrac{du}{dx}+\lambda\dfrac{dv}{dy}; \end{cases}$$

et

$$(IV)\begin{cases} T_1=\mu\left(\dfrac{dv}{dz}+\dfrac{dw}{dy}\right); \\ T_2=\mu\left(\dfrac{dw}{dx}+\dfrac{du}{dz}\right); \\ T_3=\mu\left(\dfrac{du}{dy}+\dfrac{dv}{dx}\right). \end{cases}$$

λ et μ sont deux coefficients numériques, constants pour une même substance.

Imaginons deux sections transversales du fil, infiniment voisines l'une de l'autre. Elles sont normales à la ligne neutre, et, dans ce petit intervalle, l'élément de celle-ci se confond avec l'élément de son cercle osculateur dont le centre se trouve à la rencontre du plan que j'ai appelé horizontal avec l'intersection de ces deux plans transversaux, lesquels sont perpendiculaires, ainsi que leur intersection, au plan horizontal. Je suppose, comme cela arrive toujours, que la forme extérieure du fil soit telle, que le plan horizontal coupe cette surface suivant deux éléments se confondant avec deux petits arcs de cercle ayant le même centre que l'élément correspondant de la ligne neutre, et que, de plus, tout plan, parallèle au plan horizontal et rencontrant la surface extérieure du fil, la coupe suivant des petits éléments d'arcs de cercle ayant tous leur

centre sur l'intersection des deux sections transversales, c'est-à-dire sur une même perpendiculaire au plan horizontal.

Cela posé, procédant d'une manière synthétique, je vais déduire les inconnues u, v, w de certaines considérations établies *à priori*, et faire voir ensuite que, combinées avec des valeurs convenables des forces, elles satisfont à toutes les conditions du problème, c'est-à-dire aux trois équations indéfinies et aux trois équations aux limites.

J'admets donc *à priori* que tous les points du corps qui se trouvaient primitivement sur une même section transversale, sont encore, après la déformation, sur un même plan normal à la ligne neutre déformée. J'admets, en outre, que tous les points qui étaient situés primitivement sur un arc de cercle infinitésimal, contenu dans un plan parallèle au plan horizontal et dont le centre initial était sur l'axe de ce plan, se trouvent encore, après la déformation, sur un petit arc de cercle dont le centre serait pour tous à l'intersection de leur plan avec la perpendiculaire au plan horizontal menée par le centre de l'arc de cercle de la ligne neutre déformée.

Imaginons (Pl. I, *fig.* 12) que le plan du dessin représente le plan horizontal et soit OM l'élément de la ligne neutre compris entre les deux plans transversaux infiniment voisins, COS, CMP. Le point C est le centre de l'arc de cercle OM. Prenons, dans le plan horizontal, pour axes des x et des z, la ligne OX tangente à OM et la ligne OZ perpendiculaire; puis, pour axe des y, une droite OY perpendiculaire au plan horizontal.

Soit, dans un plan parallèle au plan horizontal, un arc de cercle SP compris entre les deux sections transversales et ayant son centre sur l'axe vertical qui se projette en C sur le plan horizontal.

Après la déformation, le petit arc de cercle OM se sera changé en un arc de cercle OM′ dont le centre est en C′. Puis, d'après l'hypothèse faite, l'arc de cercle SP se sera changé en un arc de cercle S′P′ et celui-ci : 1° sera dans un plan parallèle au plan horizontal; 2° aura ses extrémités S′ et P′ respectivement sur les plans verticaux COZ et C′M′; et 3° aura son centre sur la verticale qui se projette en C′ sur le plan horizontal.

D'après cela, pour le point quelconque P, dont les coordonnées primitives étaient x, y et z, il s'agit de calculer les projections u, v, w du déplacement PP′, après la déformation.

A cet effet, appelons v_0 et w_0 les projections de SS′ respecti-

vement sur OY et OZ; ce seront les valeurs de v et w relatives au point S situé, avant et après la déformation, sur le même arc que le point P. Désignons aussi par f_0 la projection de l'arc PS sur son rayon CS; puis, par r_0, le rayon initial CM, et par r le rayon C′M′ après la déformation.

On a, pour l'x du point P′,

$$x + u = \text{C'S'} \cdot \sin \text{OC'M'}.$$

Mais

$$\text{C'S'} = r + z + f_0 + w_0.$$

Puis, à cause que OM est un arc infiniment petit, on peut remplacer sin OC′M′ par $\frac{\text{OM'}}{r} = \frac{\text{OM}}{r}$, puisque je suppose que la ligne neutre n'a pas changé de longueur.

Mais

$$\text{OM} : \text{SP} :: r_0 : r_0 + z + f_0;$$

Donc

$$\text{OM} = \text{SP} \cdot \frac{r_0}{r_0 + z + f_0} = \frac{x r_0}{r_0 + z + f_0};$$

car on peut remplacer SP par x, puisque l'arc SP est infiniment petit.

On a donc, en substituant, dans la formule ci-dessus, qui donne $x + u$,

$$x + u = (r + z + f_0 + w_0) \frac{x r_0}{r(r_0 + z + f_0)}.$$

A cause que z et f_0 sont très-petits par rapport à r_0, on peut mettre $\frac{r_0}{r_0 + z + f_0}$ sous la forme

$$\frac{1}{1 + \frac{z}{r_0} + \frac{f_0}{r_0}} = 1 - \frac{z}{r_0} - \frac{f_0}{r_0},$$

et, par suite, on déduit de la valeur précédente de $x + u$,

$$u = xz\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) - x\frac{f_0}{r_0} - \frac{xz}{r}\left(\frac{z}{r_0} + \frac{f_0}{r_0}\right).$$

Or, en faisant attention que $\frac{z}{r_0}$ est très-petit et qu'il en est de même de $\frac{f_0}{r_0}$, l'expression précédente se réduit à

$$u = xz\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right). \qquad \text{(V)}$$

Maintenant, par les hypothèses faites, on a, d'après la *fig.* 12,

$$y + v = y + v_0$$

ou

$$v = v_0. \qquad \text{(VI)}$$

De plus, il est clair que le z de P′ ou

$$z + w = z + f_0 + w_0 \text{ — projection de S′P′ sur C′S′.}$$

Mais cette projection est égale à

$$\frac{(S'P')^2}{2C'S'}.$$

Or

$$S'P' : OM' \quad \text{ou} \quad OM :: C'S' : r.$$

Donc

$$S'P' = \frac{OM \times C'S'}{r},$$

et la projection a pour valeur

$$\frac{(OM)^2 \times C'S'}{2r^2}.$$

Remplaçant C′S′ et OM par leurs expressions obtenues précédemment, on a, pour la projection,

$$(r + z + f_0 + w_0)\,\frac{x^2 r_0^2}{2r^2\,(r_0 + z + f_0)^2},$$

et, par suite,

$$z + w = z + f_0 + w_0 - \frac{x^2}{2r}\left(1 + \frac{z}{r} + \frac{f_0}{r} + \frac{w_0}{r}\right)\frac{1}{\left(1 + \frac{z}{r_0} + \frac{f_0}{r_0}\right)^2}.$$

Remplaçant f_0 par sa valeur

$$\frac{x^2}{2\,(r_0 + z + f_0)} = \frac{x^2}{2r_0\left(1 + \frac{z}{r_0} + \frac{f_0}{r_0}\right)},$$

et négligeant, comme cela est permis, les fractions $\frac{z}{r}$, $\frac{f_0}{r}$, $\frac{z}{r_0}$, $\frac{f_0}{r_0}$, on a définitivement

$$w = w_0 - \frac{x^2}{2}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right). \qquad \text{(VII)}$$

Les formules (V), (VI), (VII) donnent bien u, v et w, mais en fonctions de v_0 et de w_0 qu'il s'agit maintenant de déterminer.

Or j'obtiens v_0 et w_0 d'après les conditions que je suppose *à*

priori que, des six composantes, N_1, N_2, N_3, T_1, T_2, T_3, trois d'entre elles soient nulles en chaque point, savoir : N_2, N_3 et T_1, ce qui revient à dire que, dans tout l'intérieur du solide, si l'on considère un élément perpendiculaire, soit à l'axe des y, soit à l'axe des z, la pression sur cet élément se réduira à la composante parallèle à l'axe des x.

D'après (III) et (IV) et en ayant égard à (V), (VI) et (VII), ces conditions reviennent à

$$\lambda z\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) + (\lambda + 2\mu)\,\frac{dv_0}{dy} + \lambda\,\frac{dw_0}{dz} = 0;$$

$$\lambda z\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) - + \lambda\,\frac{dv_0}{dy} + (\lambda + 2\mu)\,\frac{dw_0}{dz} = 0;$$

$$\frac{dv_0}{dz} + \frac{dw_0}{dy} = 0;$$

d'où l'on tire

$$\text{(VIII)} \quad \begin{cases} \dfrac{dv_0}{dy} = -\dfrac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}\,z\left(\dfrac{1}{r} - \dfrac{1}{r_0}\right); \\ \dfrac{dw_0}{dz} = -\dfrac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}\,z\left(\dfrac{1}{r} - \dfrac{1}{r_0}\right); \\ \dfrac{dv_0}{dz} + \dfrac{dw_0}{dy} = 0. \end{cases}$$

En intégrant les deux premières équations de (VIII), on a

$$\text{(IX)} \quad \begin{cases} v_0 = -\dfrac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}\,yz\left(\dfrac{1}{r} - \dfrac{1}{r_0}\right) + \varphi(z); \\ w_0 = -\dfrac{\lambda}{4(\lambda+\mu)}\,z^2\left(\dfrac{1}{r} - \dfrac{1}{r_0}\right) + \psi(y). \end{cases}$$

En substituant dans la troisième équation (VIII), il vient

$$-\frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}\,y\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) + \varphi'(z) + \psi'(y) = 0,$$

ce qui montre que $\varphi'(z) = C$, C étant une constante. Donc

$$\varphi(z) = Cz + C',$$

C′ étant une seconde constante. On voit en même temps que

$$\psi'(y) = \frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}\,y\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) - C;$$

d'où

$$\psi(y) = \frac{\lambda}{4(\lambda+\mu)}\, y^2 \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) - Cy + C'',$$

C'' étant une troisième constante.

Donc

$$v_0 = -\frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}\, yz \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) + Cz + C',$$

$$w_0 = \frac{\lambda}{4(\lambda+\mu)}\, (y^2 - z^2) \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) - Cy + C''.$$

On voit d'abord que les constantes C' et C'' sont nulles, car l'origine des coordonnées étant, après comme avant la déformation, au même point O, on doit avoir v_0 et w_0 égaux à zéro pour $x = y = z = 0$.

De plus, la constante $C = 0$, car la direction de l'axe OZ est supposée invariable et $C = \frac{dv_0}{dz}$ pour $x = y = z = 0$ représenterait la rotation de cet axe autour de l'axe des x.

Il est une remarque à faire, c'est que, d'après la manière dont les constantes C, C' et C'' ont été obtenues, je les ai supposées indépendantes de x, et cela doit être.

En effet, dans la portion du solide considérée, l'intervalle par rapport à x est un infiniment petit du premier ordre. Par conséquent, si, dans le corps déformé, mais limité dans cet intervalle, on considérait une suite de points situés sur une même parallèle à l'axe OX et pour lesquels x seul varierait, y et z étant constants, tous ces points, à un infiniment petit du second ordre près, pourraient être regardés comme correspondant à un même petit arc de cercle élémentaire tel que PS. Dès lors, le point S étant, à un infiniment petit du second ordre près, le même pour tous, les valeurs de v_0 et de w_0 sont aussi les mêmes pour tous les points, qui ne diffèrent que par l'x, et par suite sont indépendantes de x.

Je vais, de plus, maintenant vérifier que les valeurs de u, v, w, qui résultent de l'analyse précédente, satisfont à toutes les conditions du problème.

Et d'abord, en reportant les valeurs de v_0 et w_0 dans (V), (VI) et (VII), on a pour ces valeurs :

$$(X)\quad \begin{cases} u = xz\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right); \\ v = -\frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}\, yz \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right); \\ w = -\frac{x^2}{2}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) + \frac{\lambda}{4(\lambda+\mu)}\, (y^2 - z^2)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right). \end{cases}$$

Or je dis qu'en décomposant le corps en une série de tranches infiniment minces par des sections transversales normales à la ligne neutre ; puis déterminant dans chaque tranche les nouvelles positions de tous les points par les formules (X); enfin, appliquant aux extrémités de chacune d'elles les forces qui résulteront de ces mêmes formules (X), chacune de ces tranches sera en équilibre.

Premièrement, les équations aux différences partielles du second ordre (I) seront vérifiées. En effet, en substituant les valeurs (X) de u, v et w dans les trois équations (I), celles-ci sont identiquement satisfaites.

Voyons maintenant les conditions relatives à la surface du corps. Pour cela, cherchons les valeurs des forces N_1, N_2, N_3, T_1, T_2, T_3 Or on sait déjà que, d'après les expressions (X), les composantes N_2, N_3 et T_1 sont nulles dans tous les points du solide. Cherchons les autres composantes.

En substituant, à cet effet, (X) dans (IV) et dans (III), on trouve de suite

$$(XI)\quad \begin{cases} T_2 = 0, \qquad T_3 = 0; \\ \text{puis} \\ N_1 = \frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu}\, z \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right). \end{cases}$$

Il n'y aurait donc aucune force élastique sur tout élément plan perpendiculaire à l'axe des y et à l'axe des z, et quant à un élément perpendiculaire à l'axe des x, les forces élastiques se réduiraient à une seule parallèle à la ligne neutre et proportionnelle à la coordonnée parallèle au plan de flexion, ainsi qu'à la quantité $\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}$.

Sur toute la surface extérieure latérale du fil, les formules donnent, comme cela doit être, des forces nulles. En effet, ces

forces, dont les composantes sont X, Y et Z, sont données par (II). Or N_2, N_3, T_1, T_2, T_3 sont nulles; d'autre part, m qui représente le cosinus de l'angle formé par la normale à un élément quelconque de la surface avec l'élément correspondant de la ligne neutre est zéro. Donc les formules (II) font voir que les valeurs de u, v et w satisfont bien aussi à la condition qu'il n'y ait aucune force extérieure appliquée à la surface latérale du fil.

Si l'on appelle $d\omega$ un élément superficiel quelconque d'une section transversale, la résultante de toutes les forces agissant de part et d'autre de cette section est, d'après (XI),

$$\text{(XII)} \qquad \frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu}\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r_0}\right)\int z\,d\omega,$$

et elle est nulle, puisque l'origine des coordonnées est au centre de gravité de cette section. Les forces se réduisent donc à un couple et en décomposant celui-ci en deux autres parallèles aux plans des (x, z) et des (x, y), on a pour son moment

$$\frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu}\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r_0}\right)\sqrt{\left(\int z^2 d\omega\right)^2+\left(\int yz\,d\omega\right)^2}.$$

Mais comme le plan horizontal partage chaque tranche en deux parties symétriques, $\int yz\,d\omega = 0$, et l'on a, pour le moment cherché,

$$\text{(XIII)} \qquad \frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu}\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r_0}\right)\int z^2 d\omega,$$

qui est l'expression connue.

Il est bon de remarquer aussi que les formules (X) donnent bien, comme cela a été supposé *à priori*, l'invariabilité de longueur de la ligne neutre, puisque pour $z = 0$, on en tire $\frac{du}{dx} = 0$.

Ainsi, pour une tranche infiniment mince quelconque, comprise entre deux sections transversales voisines, normales à la ligne neutre, si l'on appliquait, sur ses deux bases, des forces

parallèles opposées et égales aux forces $N_1 d\omega$, cette tranche serait maintenue en équilibre. Il s'agit maintenant de vérifier qu'en appliquant, non pas sur chaque section transversale, mais sur les deux bases qui terminent le spiral, de pareilles forces, le système entier sera maintenu en équilibre.

Or, remarquons que, d'après la forme que j'ai supposée en construction à la ligne neutre du spiral et qui permet de la déformer géométriquement d'après la loi $\frac{1}{r}-\frac{1}{r_0}=$ constante, en satisfaisant aux conditions de position et de direction imposées à ses deux extrémités, le moment des actions moléculaires est constant pour toutes les sections transversales, comme il résulte de son expression (XIII). En même temps, la formule (XII) montre que les forces moléculaires sont les mêmes et distribuées de la même façon dans toutes les sections, sauf leur direction qui est partout celle correspondante à la ligne neutre. Il résulte de là que, si l'on considère une portion finie quelconque du spiral, comprise entre deux plans transversaux, elle sera en équilibre sous l'action des forces moléculaires qu'elle éprouve de chaque côté, de la part des deux autres segments du spiral, puisque ces actions se réduisent à deux couples dont les moments sont égaux et contraires.

Au contraire, si la ligne neutre, c'est-à-dire la ligne dont la distance entre deux points infiniment rapprochés quelconques est invariable, n'eût point passé par le centre de gravité de toutes les sections transversales, l'équilibre général n'eût pas pu exister avec la loi de déformation $\frac{1}{r}-\frac{1}{r_0'}=$ constante que je me suis donnée d'avance pour cette ligne neutre. En effet, la formule (XII) montre qu'il y eût eu quelque section transversale où les actions moléculaires auraient eu une résultante qui n'eût pas été nulle. Supposons, par la pensée, le spiral limité à cette section et appliquons sur celle-ci des forces égales et contraires aux forces $N_1 d\omega$ correspondantes. Si le système solide restant était en équilibre, celui-ci subsisterait en en retranchant une portion finie quelconque à l'aide d'une section transversale et appliquant sur celle-ci des forces égales et contraires aux forces moléculaires, et il faudrait que ces dernières se détruisissent avec la résultante dont il a été parlé. Il

faudrait donc qu'en transportant cette résultante au point de rencontre de la section opposée et de la ligne neutre son moment fût égal à (XIII). Or le moment (XIII) est constant pour toutes les sections transversales, tandis qu'en transportant la résultante dont il s'agit à une section quelconque du spiral, son moment change nécessairement.

Donc, enfin, avec la loi de déformation géométrique assignée d'avance à la ligne neutre, il était nécessaire de supposer celle-ci passant par le centre de gravité de toutes les sections transversales.

En résumé, la ligne neutre étant déformée de cette manière, les valeurs de u, v et w données par les formules (X) satisfont à toutes les conditions du problème de l'équilibre, pourvu que les bases extrêmes du spiral étant, en construction, normales à la ligne neutre, on suppose appliquées sur leur surface des forces représentées par $N_1 d\omega$, puisque le calcul indique qu'alors toute portion du spiral comprise entre deux sections transversales quelconques, soit infiniment rapprochées, soit à une distance finie l'une de l'autre, est en équilibre. On voit en même temps : 1° que tous les points primitivement situés sur une même section transversale se trouvent encore après la déformation sur un même plan normal à la nouvelle forme de la ligne neutre; 2° que le lieu géométrique des centres de gravité de toutes les sections transversales reste, dans toutes les parties, d'une longueur invariable.

Réciproquement si, comme cela a lieu réellement, le problème se pose différemment, le résultat sera encore le même. Ainsi on ne sait pas d'avance la forme qu'affecte dans la déformation le lieu géométrique des centres de gravité des sections transversales; on ne se donne pas d'avance les forces qui agissent sur les bases extrêmes du spiral. Mais on assujettit celui-ci aux conditions suivantes. Une de ses extrémités est fixe et de direction invariable; l'autre est déplacée de manière à arriver en un point déterminé d'une circonférence donnée que cette extrémité doit encore rencontrer sous un angle assigné d'avance. De plus, les deux bases extrêmes, supposées primitivement planes et normales à la ligne neutre, sont astreintes à demeurer, après la déformation, en tout ou en partie, normales à la ligne neutre déformée. Ici les inconnues sont la forme de la ligne neutre et les forces moléculaires aux bases

extrêmes. Or il est visible qu'en les déterminant d'après les conditions exposées tout au long dans ce qui précède, on aura une solution qui satisfera complétement à toutes les conditions d'équilibre, et comme il ne peut y avoir qu'une seule solution pour l'équilibre, ce sera celle-là qui aura lieu.

Il est donc démontré par là que la théorie ordinaire de l'axe neutre, dont je me suis servi dans ce problème et dont tous les résultats d'ailleurs ont été parfaitement d'accord avec l'expérience, est, dans cette circonstance, une conséquence rigoureuse de la théorie mathématique de l'élasticité.

Je remarquerai à cette occasion que cette concordance s'appliquerait, en dehors de ce problème, dans une multitude de cas analogues, où les flexions se feraient d'une manière semblable, c'est-à-dire avec un changement de courbure uniforme.

ADDITION.

« La formule (8) présente aussi une analogie très-remarquable avec celle qui correspond au pendule, en ce sens que, toutes choses égales d'ailleurs, la durée des vibrations d'un spiral est proportionnelle à la racine quarrée de sa longueur, de même que la durée des oscillations du pendule est proportionnelle à la racine quarrée de sa longueur. Ce rapprochement est d'autant plus intéressant qu'il n'existe dans les deux cas rien de semblable, soit dans le corps en mouvement, soit dans la nature de la force motrice, et même, pour le pendule, cette loi n'existe que pour les oscillations d'une très-faible amplitude, tandis que, pour le spiral, elle a lieu quelle que soit l'étendue des vibrations du balancier. »

ÉTAT PRÉSENT

DE LA MÉTALLURGIE DU FER EN ANGLETERRE.

PAR

M. GRUNER, ingénieur en chef des mines, professeur de metallurgie à l'École impériale des mines,

ET

M. LAN, ingénieur des mines, professeur de métallurgie à l'École des mineurs de Saint-Étienne.

DEUXIÈME PARTIE (1).

FABRICATION DE LA FONTE.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Transformation des hauts fourneaux au bois en hauts fourneaux au coke.

D'après M. S. H. Backwell (2), les premiers essais de fusion du minerai de fer au combustible minéral remonteraient à l'année 1620, mais ils ne furent réellement couronnés de succès qu'en 1740; c'est à partir de cette époque que le coke remplaça graduellement le charbon de bois; et dès la fin du siècle dernier la tranformation fut à peu près complète. Ce changement s'est opéré chez nos voisins d'une façon plus rapide et surtout plus radicale qu'en France.

La rareté relative du bois en Angleterre et l'abondance de la houille sont évidemment les deux causes essentielles de la différence si marquée du développement de l'industrie des fers dans les deux pays.

Mais il est une autre cause encore, dont on ne tient

(1) Voir la première partie, tome XIX, page 131.

(2) *Lecture on the iron making resources of the United kingdom.* Ces essais sont principalement dus à Dud-Dudley qui publia même sur ce sujet un traité intitulé ; *Metallum martis*, 1665.

pas en général suffisamment compte lorsqu'on compare les forges des deux contrées : c'est la nature si différente des minerais. Si les minerais anglais étaient aussi purs que les nôtres, on pourrait encore aujourd'hui, dans certains districts, les fondre avec avantage au charbon de bois. Ce combustible n'est, dans le Royaume-Uni, ni aussi rare ni aussi cher qu'on le suppose généralement. Ainsi à Pontypool, dans le pays de Galles, où l'on affine pour fers-blancs par le procédé comtois de bonnes fontes au coke, la tonne de charbon de bois, rendu en forge, ne coûte pas au delà de 60 francs (1). Mais les meilleurs minerais anglais, sauf les fers spathiques et certaines hématites brunes, ne donneraient pas au combustible végétal, des produits analogues à nos fontes de Comté, du Périgord et du Berri. On n'aurait en particulier aucun intérêt à traiter ainsi les minerais houillers et ceux du Cleveland. Outre les fers spathiques et les mines douces dont nous venons de parler, les hématites rouges du Lancashire et du Cumberland sont les seuls minerais anglais qui méritent la fusion au charbon végétal ; encore faut-il choisir ces derniers avec soin, car le plus souvent ils sont très-quartzeux, et les hématites rouges les plus pures ne valent pas nos minerais tertiaires en grains.

C'est bien là, au reste, dans le Lancashire, que se rencontrent les deux ou trois hauts fourneaux qui marchent encore au charbon végétal en Angleterre.

La disparition si rapide des hauts fourneaux au bois, chez nos voisins, ne doit donc pas faire craindre leur

(1) Ce prix monterait rapidement, nous le savons, si plusieurs hauts fourneaux marchaient au charbon de bois, dans ce district. Néanmoins dans les comtés peu peuplés du pays de Galles et du Nord de l'Angleterre, les bois sont encore assez abondants.

extinction prochaine en France ; il est plutôt à présumer que les fontes au bois pourront y lutter longtemps encore avec les fontes au coke, du moins si l'on se borne à traiter au combustible végétal les minerais de qualité supérieure.

Les maîtres de forges anglais, aussi bien que les nôtres, préfèrent, pour le travail des fers fins, les bonnes fontes en bois aux meilleurs fontes au coke. Pour les numéros supérieurs de la tréfilerie, les fers aciéreux et les aciers puddlés, ils recherchent spécialement les fontes au bois de Suède, des Indes, du Canada, etc., et le jour viendra sans doute où ils apprécieront également, pour ces usages spéciaux, certaines fontes de France. Il est dans tous les cas à remarquer que, jusque dans ces derniers temps, et malgré la concurrence des fontes au coke, la production des fontes au bois n'a pas diminué en France.

La statistique officielle donne en effet :

		tonnes.	
Pour	1840.	280.000	
	1847.	339.433	
	1850.	229.519	(a)
	1852.	263.340	(a)
	1858.	326.000	
	1859.	336.000	

(a) Années de crises politiques.

Ces chiffres ne comprennent pas d'ailleurs les fontes obtenues par un mélange de coke et de charbon de bois.

Le prix de revient de la fonte demeure stationnaire ou tend plutôt à croître depuis trente ans en Angleterre.

Le but constant de tout industriel est l'abaissement incessant du prix de revient de ses produits. En dehors de la valeur des matières premières, le fabricant de fonte peut spécialement réaliser des économies par quatre moyens principaux : réduire la consommation du combustible ; accroître la production des fourneaux ;

développer et perfectionner les appareils mécaniques; substituer des scories de forge aux minerais proprement dits.

Tels sont en effet les divers moyens que les fondeurs anglais ont tour à tour mis en œuvre dans leurs forges. Sous ces divers rapports les progrès ont été grands, et pourtant le prix de revient de la fonte est encore ce qu'il était il y a trente ans, si même il n'est plus élevé, à cause de l'accroissement graduel du prix des matières premières et de celle de la main-d'œuvre. Les progrès de l'art du fondeur ont simplement compensé la hausse en question.

Ainsi, en 1825, d'après les *Voyages métallurgiques* (t. I, p. 345 et 354), le prix de revient de la fonte de forge était, au pays de Galles, de 2 liv. 8 1/2 sh., tandis qu'il est aujourd'hui, pour les *qualités analogues*, de 2 liv. 15 sh. à 3 liv. 5 sh., et pour les fontes inférieures à rails de 2 liv. 5 sh. à 2 liv. 10 sh. En Écosse, en 1833, la fonte de moulage revenait à 2 liv. 7 sh. 4 d., et en 1860, à 2 liv. 7 sh. 9 d. Enfin, dans le Staffordshire, le prix de revient des fontes grises est maintenant, comme il y a trente ans, de 3 liv. 10 sh. en moyenne (t. I, p. 298).

Or, comme les causes qui tendent à hausser les matières premières et la main-d'œuvre sont toujours agissantes, tandis que les perfectionnements ultérieurs des procédés de fusion doivent paraître douteux, nous pensons que le prix de revient de la fonte ne peut que croître à l'avenir en Angleterre.

Modifications successives du travail des hauts fourneaux anglais depuis 1825.

Voyons maintenant en quoi consistent ces améliorations réalisées, depuis trente-cinq ans, par les fondeurs anglais :

1° *Économie sur le combustible consommé.* — La consommation a été principalement réduite par l'adoption

de l'air chaud et la substitution, dans certains districts, de la houille crue au coke.

Souvent aussi, comme nous le montrerons, un simple élargissement du gueulard, en prolongeant le séjour des minerais dans le fourneau, a amené une certaine économie sur le combustible brûlé (1).

La plupart de ces modifications remontent à la période de 1830 à 1835, et ont été déjà signalées dans la deuxième édition des *Voyages métallurgiques*. En outre, dans certaines usines, on a aussi réduit la consommation en modifiant l'allure des fourneaux. Au lieu de fonte de forge *grise*, on cherche à produire habituellement des fontes *blanches grenues* faiblement carburées. C'est spécialement le cas dans le pays de Galles, surtout là où l'on fait usage d'une forte addition de scories de forge ou d'hématites rouges très-siliceuses. Mais on peut se demander si pareille économie n'est pas payée trop chèrement par la dépréciation que subissent les produits, car ces fontes ne peuvent donner que des fers et des rails fort médiocres, et cela avec un déchet plus grand que les fontes grises ordinaires. La réduction des minerais est d'ailleurs, dans ce cas, toujours incomplète, et par suite le rendement moins élevé.

Enfin un autre moyen, employé depuis longtemps en France et en Allemagne pour abaisser la proportion de combustible consommé, c'est l'utilisation des gaz des hauts fourneaux. Sous ce rapport les maîtres de forges anglais ont été fort longtemps et sont encore en retard sur les forges du continent, ainsi que le constate l'ingénieur anglais S. H. Blackwell, dans sa notice déjà citée sur

(1) M. Truran attribue (p. 79) l'économie réalisée en Angleterre depuis trente ans, presque exclusivement à l'élargissement des gueulards! — Il y a là erreur et exagération évidentes.

les ressources de l'Angleterre au point de vue du fer, notice publiée à la suite de l'exposition universelle de Londres en 1851. Les premiers essais pour l'emploi des gaz ne furent tentés en Angleterre qu'en 1845. Selon M. Blackwell, ils auraient été entrepris dans l'usine d'Ystalifera, tandis que selon M. Truran, l'initiative de la combustion des gaz appartiendrait à l'usine d'Ebbwvale. A Ystalifera, on n'aurait d'abord cherché à utiliser que la *chaleur propre* des gaz, sans admission d'air. Quoi qu'il en soit à cet égard, on peut admettre qu'en ce moment tous les fourneaux du Cleveland et la moitié de ceux du pays de Galles utilisent les gaz pour le chauffage de l'air et des chaudières, tandis que c'est encore l'exception dans le Staffordshire et en Écosse. Plusieurs maîtres de forges anglais, et M. Truran à leur tête, prétendent d'ailleurs qu'on ne saurait utiliser les gaz d'un haut fourneau sans en déranger la marche. Cela est vrai, en effet, dans le cas de gueulards larges et lorsque les gaz sont aspirés par la circonférence; mais tout inconvénient disparaît lorsqu'ils sont pris au centre, à l'aide d'appareils disposés comme ceux de M. Coingt de Montluçon.

De l'emploi encore incomplet des gaz, il résulte qu'en moyenne, on brûle en Angleterre plus de houille par tonne de fonte qu'en France. Mais la consommation a été néanmoins, dans les forges anglaises, considérablement réduite depuis trente ans.

Nous avons montré, dans la première partie de notre travail (chap. VI)(1), les progrès réalisés en France et en Angleterre sous le rapport de la houille totale consommée par tonne de *fer laminé;* il est facile de montrer que l'économie porte principalement sur la fonte.

(1) Tome XIX, page 231.

Consommation par tonne de fonte.

En 1830 on consommait, dans le pays de Galles, pour fonte de forge, en moyenne 4 tonnes de houille; aujourd'hui, dans les usines où l'on utilise les gaz, 2 tonnes à 2t,50.

Dans le Staffordshire, pour fonte grise de forge, vers 1830, 6 tonnes à 6t,50; aujourd'hui, avec des minerais grillés de 40 p. 100 environ, 4 tonnes en moyenne. En Écosse, pour fonte noire de moulage avant l'emploi de la houille crue et de l'air chaud (1828), 7t,50 à 8 tonnes de houille, grillage et machine compris; aujourd'hui, avec des minerais grillés de 55 à 60 p. 100, seulement 2t,40 à 2t,60; enfin dans le Cleveland, où les gaz sont bien employés, on brûle, en traitant des minerais grillés de 40 p. 100, 2t,80 à 3 tonnes. En France, par contre, dans bon nombre d'usines, la consommation ne dépasse pas 2 tonnes à 2t,20, lorsque les houilles sont fortement carburées et les minerais de la teneur moyenne de ceux du pays de Galles, du Cleveland et du Staffordshire (40 p. 100) (Loire et Creusot). Mais aussi lorsque les minerais sont pauvres, comme à Aubin et Decazeville, et la houille faiblement carburée, la consommation s'élève également à 4 ou 5 tonnes.

2° *Accroissement de la production.* — La production moyenne des hauts fourneaux a été plus que doublée depuis trente ans, ce qui a dû réduire notablement les frais généraux.

Il y a vingt-cinq à trente ans, les hauts fourneaux du pays de Galles produisaient, en moyenne par vingt-quatre heures, 8 à 9 tonnes de fonte de forge, et ceux du Staffordshire 7 tonnes. Aujourd'hui, en prenant avec M. R. Hunt la moyenne de toutes les usines, on trouve 20 tonnes dans le premier district et 12 à 13 dans le second. Mais nombre de hauts four-

neaux vont à 15 ou 20 tonnes dans le Staffordshire et à 30 ou 40 dans le pays de Galles.

On trouve de même 19 tonnes, comme moyenne, dans le Cleveland, et 20 tonnes en Écosse, au lieu de 7 tonnes il y a trente ans.

Cet accroissement provient uniquement, comme nous le verrons, de l'agrandissement de la cuve des hauts fourneaux, car, par mètre cube du vide intérieur, la production n'est pas plus élevée aujourd'hui que jadis. (Voir le tableau, page 157.)

La vitesse de descente des charges et le temps consacré à la réduction et fusion des minerais sont restés sensiblement les mêmes. L'augmentation de volume a été d'ailleurs réalisée en largeur plutôt qu'en hauteur; on a surtout modifié les diamètres du ventre et du gueulard, rarement la hauteur de la cuve.

Néanmoins, pour forcer la production des hauts fourneaux, il ne suffit pas d'en accroître le volume, il faut aussi augmenter proportionnellement le volume du vent. On a donc doublé à peu près le volume ou le nombre des cylindres soufflants, et forcé en même temps, dans certains cas, la pression du vent. Dans quelques usines, le Cleveland et le Staffordshire en particulier, pour donner issue à ce volume double de vent, on s'est contenté d'agrandir la section des tuyères existantes; ailleurs on en a plutôt multiplié le nombre. Ainsi, dans le pays de Galles, on est arrivé de 2 ou 3 à 5 ou 7, et en Écosse jusqu'à 8 ou 10. Nous aurons à apprécier l'influence de ces diverses modifications.

Transformation des machines soufflantes.

3° *Perfectionnement des appareils mécaniques.* — La principale modification introduite dans les appareils mécaniques employée au service des hauts fourneaux, est la transformation des machines soufflantes. Autrefois on ne se servait, comme moteur des souffleries, que de la machine type bien connue de Watt, à basse pression et à condensation, machine dont le diamètre était exactement moitié de celui du cylindre soufflant. Maintenant on a recours plus souvent aux machines à haute pression et assez souvent aux machines à deux cylindres de Woolf. Truran attribue même à ce seul changement l'énorme réduction de moitié ou même de deux tiers dans le poids de la houille consommée par mètre cube de vent; mais d'autres modifications simultanées ont, comme nous le verrons, également contribué aux réductions annoncées.

Les machines à haute pression ont surtout l'avantage de pouvoir plus facilement, à un moment donné, accroître rapidement la puissance motrice et par suite la pression ou le volume du vent.

Les machines soufflantes horizontales sont peu usitées en Angleterre. On leur a reconnu les mêmes inconvénients que sur le continent, mais on rencontre çà et là quelques machines verticales à *traction directe*,

Monte-charge

Les *monte-charges* ont été généralement simplifiés. Lorsque les hauts fourneaux ne sont pas adossés contre un coteau, on se sert aujourd'hui, au lieu des anciens plans inclinés ou monte-charges verticaux à chaînettes, de balances hydrauliques, et surtout, dans les usines les plus modernes, comme celles du Cleveland, de *cloches pneumatiques*, sortes de gazomètres à faible diamètre, mais d'une hauteur un peu supérieure à celle du haut fourneau lui-même. C'est évidemment, de tous les appareils, le plus simple et le moins sujet aux dérangements.

Nous mentionnons encore, comme appareils propres à réduire les frais accessoires de la fusion des minerais, les *wagons* en tôle dans lesquels coulent directement les

laitiers, et que l'on transporte ensuite par chemins de fer, et souvent à l'aide de la vapeur, jusqu'au sommet de crassiers fort élevés.

Appareils à air chaud.

Les appareils à air chaud ont été peu modifiés depuis vingt-cinq ans en Angleterre. A cet égard, comme sous le rapport des appareils de combustion des gaz, les usines du continent n'ont rien à apprendre des maîtres de forges anglais.

4° *Réduction des scories.* — Une dernière modification, propre à réduire les frais de fabrication de la fonte, est l'emploi des scories de forge en guise de minerai. Les scories sont un minerai riche, d'une valeur faible, mais leur réduction est difficile et toujours incomplète; puis ces scories, non-seulement blanchissent les fontes, comme on l'a déjà dit, mais les rendent en outre fortement siliceuses et phosphoreuses. On ne peut donc avoir recours à ce moyen que dans le cas de la fabrication de fontes de forge de qualité tout à fait inférieure. C'est le cas des usines du pays de Galles, où en général on refond partout, presque sans exception, la totalité des scories provenant de l'affinage, et il en est de même de quelques établissements du Staffordshire, où l'on fabrique des fers inférieurs d'un prix peu élevé. Mais dans la plupart des usines de ce même district et dans toutes celles du Cleveland et de l'Écosse, l'emploi des scories est l'exception, et lorsqu'on en ajoute aux hauts fourneaux, c'est toujours en proportion très-faible. Nous verrons, au reste, que sous un autre rapport encore l'addition des scories procure une économie plus apparente que réelle. Dès que la proportion des scories est un peu forte, leur réduction demeure incomplète, l'allure du fourneau devient froide, et presque toujours la moitié de l'oxyde ferreux des scories passe directement dans les laitiers.

Division de la deuxième partie.

Nous venons d'esquisser rapidement la situation des hauts fourneaux anglais, au point de vue de la production et de la consommation moyennes par district; revenons maintenant sur nos pas, et cherchons à apprécier plus en détail tout ce qui constitue le travail proprement dit des hauts fourneaux.

Nous avons à examiner successivement :

La préparation des combustibles et des minerais;

Le profil et les dimensions des hauts fourneaux;

Les installations accessoires, telles que soufflerie, monte-charges, appareils à air chaud, prises de gaz, etc.;

Puis la marche ou le roulement proprement dit des hauts fourneaux, avec le tableau résumé de leur production dans les divers districts.

Après cela nous passerons en revue les divers districts de forges du Royaume-Uni.

CHAPITRE PREMIER.

OPÉRATIONS DIVERSES AUXQUELLES ON SOUMET LE COMBUSTIBLE, LE MINERAI ET LA CASTINE.

§ 1. *Combustibles et carbonisation.*

Les houilles grasses proprement dites sont relativement rares dans les districts de forges du Royaume-Uni. On a vu que le bassin anglais Central et l'Écosse renferment surtout des charbons secs à longue flamme, et le pays de Galles des houilles maigres à courte flamme. Celui de Newcastle seul abonde en charbons collants. Ainsi, dans la plupart des districts, le *menu* ne peut servir à la fabrication du coke : il faut carboniser le *gros* ou le charger *cru* dans les hauts fourneaux.

L'emploi de la houille crue caractérise les hauts fourneaux anglais.

L'emploi de la houille *crue* est par suite ce qui caractérise tout d'abord les hauts fourneaux anglais, et cette particularité, que l'on a souvent présentée comme un avantage, est plutôt une fâcheuse nécessité. En France, nous pouvons presque partout utiliser le menu; en Angleterre, on se voit contraint de le laisser dans les remblais, ou de le réduire en cendres à la surface du sol. Il faut l'extrême richesse des houillères anglaises pour supporter de pareilles pertes.

Ce double fait de la fusion à la houille crue et du bas prix du combustible a réagi sur les méthodes de carbonisation. En Angleterre, on a moins senti qu'en France et en Belgique le besoin de les perfectionner. Sous ce rapport, nos voisins n'ont fait réellement aucun progrès depuis vingt-cinq ans. Les procédés décrits dans les voyages métallurgiques sont encore, pour la plupart, usités en Angleterre presque sans la moindre modification.

Dans le pays de Galles, le gros est carbonisé en meules longues rectangulaires; dans le Staffordshire, en meules coniques avec tourelle centrale en briques. C'est la méthode ancienne, connue depuis longtemps, mais appliquée d'une façon moins générale qu'autrefois, à cause de l'emploi fréquent de la houille crue.

Pourtant, dans toutes les usines où l'on cherche à produire des fontes et des fers de première qualité, on marche encore au coke (Pontypool, Blaenavon, Cyfarthfa, Lowmoor, usines de lord Ward, etc.), et, pour les fers de qualité moyenne, on fait le plus souvent usage d'un mélange de houille et de coke.

La carbonisation du gros est une véritable désulfuration.

Le but qu'on se propose, en carbonisant les houilles non collantes est, par suite, beaucoup moins la volatisation de l'élément gazeux de la houille, qui gêne en

général peu la marche des hauts fourneaux, que l'élimination du soufre des pyrites. C'est une *désulfuration* bien plutôt qu'une *carbonisation* proprement dite, et c'est bien ainsi que se nommait originairement la fabrication du coke en Angleterre. La fusion exclusive à la houille crue n'est, au reste, généralement adoptée qu'en Écosse, où les fontes sont au moins en partie, par ce motif, peu tenaces et les fers de qualité médiocre.

La carbonisation en meules est également appliquée au menu demi-gros ou à un mélange de menu et de houille en morceaux. On se sert alors de meules préparées entre deux murs parallèles percés d'ouvreaux, dans le genre des méthodes jadis employées au Creusot et à la Grand'-Combe. Nous avons vu appliquer ce mode de carbonisation à Pontypool et à Abersychan dans le pays de Galles, et à Shelton dans le Staffordshire. Les murs ont $2^m,20$ à $2^m,30$ de hauteur, et sont à 3 mètres de distance l'un de l'autre. Le sol de la meule est dallé, et dans l'épaisseur des murs se trouvent, outre les ouvreaux, pour l'admission de l'air, des cheminées de tirage verticales. Le gros charbon est placé au fond, voûté en galeries en face des ouvreaux, le menu tassé par-dessus.

A Newcastle, où le charbon est généralement collant, on a longtemps carbonisé le gros dans des fours voûtés de diverses sortes (*Voyages métallurgiques*, t. I, p. 254). Cette méthode tend à disparaître depuis que M. Bérard a fait connaître en Angleterre sa machine à laver. Dans les districts dont les charbons sont collants, la carbonisation du menu se substitue peu à peu à celle du gros. Les fours employés sont semblables à ceux de la Loire, c'est-à-dire, les uns ronds ou rectangulaires à une seule porte, les autres rectangulaires ou ovoïdes à deux portes.

Dans les fours à sole rectangulaire, le déchargement est généralement mécanique comme en France. Les fours à parois chauffées paraissent peu employés jusqu'à présent, et les produits de la distillation ne sont pas recueillis. Bref, la fabrication du coke n'offre rien de spécial en Angleterre, et se trouve en retard sur la méthode perfectionnée, sans admission d'air, telle qu'elle est pratiquée en France dans les fours *Appolt* et *Knab*, et en Belgique dans les fours *rectangulaires étroits*.

Divers types de fours de carbonisation sans admission d'air.

Qu'il nous soit permis d'observer en passant, que les trois formes dont nous venons de parler comprennent en réalité tous les types sans admission d'air. Toute masse de houille menue à carboniser affecte en général la forme d'un prisme droit rectangulaire, prisme dont la distance entre les deux grandes bases ne saurait être supérieure à $0^m,50$, si l'on veut que la chaleur développée dans les carneaux pénètre facilement jusqu'au centre de la masse. Or ce prisme droit peut se placer sur l'une quelconque de ces trois bases. Si on le couche à plat, on a le four *Knab;* si on le place sur la tranche, on a les fours *Belges*, et si on le dresse verticalement, on a le four *Appolt*.

Dans le premier cas, on ne peut chauffer la masse que par l'une de ses grandes bases et par les deux faces étroites, et comme la moins haute des arêtes du prisme est verticale, la houille tend à se boursoufler et le coke reste peu dense.

Dans les fours belges, on carbonise par les deux grandes bases et l'une des faces étroites, et sous la charge de l'arête moyenne.

Enfin, dans les fours Appolt on transmet la chaleur à la fois par les deux grandes bases et les deux faces moyennes; de plus, la grande arête est verticale, en

sorte que la carbonisation a lieu sous le maximum de pression. A ce double point de vue, le four Appolt mérite évidemment la préférence sur les deux autres types. C'est lui aussi qui occupe le moins d'espace et qui se décharge le plus rapidement.

Au lieu d'un prisme on pourrait adopter un massif cylindrique, et ce dernier pourrait également se placer suivant ses trois axes si on le suppose à base elliptique. Mais il est évident que de pareils fours seraient plus coûteux à construire et auraient l'inconvénient de ne pas utiliser aussi bien la place. M. Talabot a cependant adopté ce mode de construction dans ses usines de Denain et d'Anzin. Ce sont des cylindres couchés à section circulaire; malgré cela, d'après ce que nous venons de dire, nous pensons que les appareils cylindriques sont moins pratiques que les fours belges et les fours Appolt.

Prix de revient du coke.

Dans les usines anglaises, où une partie de la houille est transformée en coke, on n'établit jamais son prix de revient. Les frais de carbonisation sont confondus avec ceux du travail proprement dit des hauts fourneaux, et le combustible consommé figure toujours, sous forme de houille crue, dans le prix de revient des fontes anglaises.

On admet cependant, en général, que les frais de carbonisation varient de $1^f,50$ à $1^f,80$ par tonne.

Quant à la proportion de houille, elle dépend évidemment de celle de matières volatiles.

Elle est d'ailleurs rarement connue avec précision, à cause des tonnes plus ou moins fortes dont on fait usage lors de la livraison du charbon brut. On peut admettre cependant que, dans le pays de Galles, il faut $1^t,50$ à $1^t,60$ de houille par tonne de coke, tandis qu'à Newcastle et surtout dans le Staffordshire, où l'on car-

bonise à l'air libre des houilles sèches à longue flamme, on en consomme bien souvent au delà de 2 tonnes.

Apparence du coke.

L'aspect et la consistance du coke varient, comme on sait, avec la nature de la houille.

Le coke du Staffordshire est friable, fendillé, mal agglutiné, conservant plus ou moins la forme schisteuse des fragments de houille. Il est gris sombre, presque noir.

Dans le pays de Galles, où l'on carbonise des houilles à courte flamme, demi-grasses, l'agglutination est plus avancée et certaines variétés sont même bien fondues et compactes. Mais, en général, le coke est aussi plus ou moins schisteux et d'une nuance assez foncée.

Dans le nord de l'Angleterre on produit, par contre, un beau coke blanc argentin, bien fondu, divisé en aiguilles d'autant plus effilées que la proportion *des matières* volatiles est plus forte.

Condensation du goudron dans la carbonisation en meules.

Citons, pour clore ce qui concerne la carbonisation, deux essais tentés par M. S. H. Blackwell de Dudley, l'un des plus habiles ingénieurs du Staffordshire.

Dans un premier essai, il a cherché à recueillir le goudron provenant de la carbonisation en meules coniques. A cet effet, le vide intérieur de la cheminée centrale est prolongé verticalement au-dessous du niveau de l'aire de carbonisation, et se relie, sous le sol, à un tuyau horizontal en fonte qui aboutit au dehors à un grand réfrigérant ou condenseur, formé d'une vieille chaudière à vapeur, où se dépose le goudron. Pour produire l'aspiration, on met le condenseur en communication avec une grande cheminée d'appel, celle des chaudières à vapeur de la soufflerie de l'usine. De cette façon, l'air pour la carbonisation, au lieu de pénétrer dans la meule par le bas, y arrive par une série

de petits soupiraux percés au travers de la couverte; et la fumée, au lieu de se répandre au dehors, se rend, au travers du condenseur dans la cheminée d'appel. L'appareil fonctionnait depuis peu lors de notre passage à Dudley, et nous ne pouvons dire la proportion de goudron que les houilles à longue flamme du Staffordshire sont capables de fournir par ce procédé. La carbonisation se faisait d'ailleurs comme à l'ordinaire.

Carbonisation du menu sec.

Le second essai avait en vue la fabrication du coke avec le *menu* sec des houilles du Staffordshire. Ne pouvant se procurer du menu gras qui aurait pu servir de ciment au menu sec, il a eu recours au brai de l'usine à gaz de Birmingham. En mêlant au menu ordinaire le quart de son poids de brai sec pulvérisé, on obtient, dans les fours voûtés ordinaires, un coke argentin assez semblable à celui du bassin de Newcastle.

Ce mode de fabrication ne pourra jamais prendre une bien grande extension, mais on comprend que là où le brai est à très-bas prix, comme dans le Staffordshire, surtout si le goudron, provenant de la carbonisation du gros, était partout recueilli par le procédé simple ci-dessus décrit, on comprend, disons-nous, que ce nouveau mode de carbonisation pourrait néanmoins être appliqué avec avantage sur certains points,

Agglomération du menu.

Au lieu de carboniser le menu, on peut *l'agglomérer*. En France ce mode de préparation a pris une très-grande extension et tend à se développer de plus en plus. La nature généralement collante de nos menus, la faible proportion de gros fournie par nos mines, et la valeur si différente du gros et du menu, expliquent suffisamment la faveur dont jouissent en France les procédés d'agglomération. En Angleterre les conditions sont bien différentes. Le menu y est moins abondant et surtout plus sec, et le prix du gros sur les mines

n'est guère supérieur aux frais réunis de l'agglomération et du lavage du menu. Ces deux opérations coûtent en France 8 à 10 francs par tonne d'agglomérés, et l'agglomération seule au moins 7 francs. Malgré cela, quelques fabriques d'agglomérés se sont établies ces dernières années à Swansea, où les menus sont abondants et spécialement propres, à cause de leur caractère authraciteux, à donner de bons produits. On les désigne sous le nom de *patent fuel* (combustible patenté). Comme en France, les procédés sont variés, mais reposent presque tous aussi sur l'emploi du brai. Cependant M. Bessemer en Angleterre, comme M. Barroulier en France, a recours au simple mélange du menu gras au menu maigre. On peut consulter sur les diverses méthodes usitées (ou proposées) en Angleterre, un mémoire de M. l'ingénieur Jordan dans le tome V, 4e livraison, du *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*. Ajoutons simplement que la principale usine de Swansea fait usage d'une machine française, système Couillard, construite au Havre par MM. Mazeline frères. Elle peut fabriquer par vingt-quatre heures près de 400 tonnes de briquettes prismatiques avec du menu semi-anthraciteux non lavé.

Les briquettes de Swansea, à cause de leur pouvoir calorifique élevé, sont consommées par la marine à vapeur; mais il est probable qu'on pourrait les utiliser également dans les hauts fourneaux à la place de la houille crue en morceaux.

§ 2. *Grillage des minerais.*

Le grillage des minerais a subi depuis trente ans encore moins de modifications que la carbonisation.

On opère suivant deux méthodes :

1° Grillage en plein air et en tas (*burning in clamps*);
2° Grillage en fours (*burning in kilns*).

Le premier système ne convient que pour des minerais carbonatés mêlés de houille (les *blackband*); le second opère la calcination d'une façon plus uniforme et plus économique; on n'est pas autant exposé à obtenir des masses à demi fondues, de véritables scories difficiles à réduire.

On grille en Angleterre la plupart des minerais, les carbonates houillers, les minerais du Cleveland, les fers spathiques et même très-souvent les minerais hydratés. On ne charge, en général, à l'état cru que les hématites rouges du nord de l'Angleterre.

Grillage en tas.

Le grillage en tas se fait en meules entièrement libres sur un lit de houille; c'est l'enfance de l'art. Les tas ont la forme de pyramides rectangulaires tronquées de 1 à 3 mètres de hauteur. La limite supérieure ne se rencontre qu'en Écosse et là où l'on grille, comme dans ce district, des minerais renfermant eux-mêmes l'élément combustible (les *blackband*).

Le grillage en tas est surtout usité en Écosse et dans le Staffordshire. On l'applique rarement dans les usines du pays de Galles. Nous l'avons cependant rencontré à *Yniscedwyn*, près de Swansea.

Les frais de grillage, comme ceux de la carbonisation, sont presque toujours joints à ceux du haut fourneaux. On peut cependant les évaluer en moyenne, d'après Truran, à 85 centimes par tonne, savoir :

Pour dressage et défournement du tas	40 cent.
Houille, 100 à 150 kil., dont 80 p. 100 de menu.	45
Total.	85

A Yniscedwyn, la consommation s'éleverait même, d'après les communications verbales du directeur, jusqu'à 200 ou 250 kil. d'anthracite par tonne de minerai.

Grillage en fours.

Le grillage en fours est beaucoup plus répandu que le grillage en tas. On en fait usage dans la plupart des usines du pays de Galles et dans toutes celles du Cleveland.

Le fours (*kilns*) sont disposés comme les fours à chaux à feu continu, mais la plupart, au lieu d'être à base circulaire comme en France, se composent de cuves dont la section horizontale est celle d'un rectangle à angles arrondis. Cette forme rectangulaire est évidemment plus favorable pour les grands fours que la section circulaire. La température est plus uniforme dans les diverses parties, et la descente des charges se fait partout dans des conditions identiques.

Le vide a tantôt la forme d'un tronc de pyramide renversé, dont les parois ont une inclinaison uniforme depuis le gueulard jusqu'à la sole (Dowlais), tantôt celle d'un prisme vertical, dont la partie inférieure se rétrécit en tronc de pyramide plus ou moins arqué (Sir-Howy). Dans la plupart des usines, les fours de grillage sont beaucoup plus grands que ceux dont il est fait mention dans le *Voyage métallurgique*. On en voit à Sir-Howy qui ont jusqu'à 8 ou 9 mètres de longueur sur 3 mètres de largeur et 6 à 7 mètres de hauteur. Quelques autres n'ont cependant dans la même usine, pour mêmes hauteur et largeur, qu'une longueur moitié (14 pieds anglais). Ces derniers donnent par 24 h. 35 tonnes de minerai grillé.

Truran indique, d'autre part, qu'un fourneau dont le volume intérieur correspond à 70 tonnes, peut griller 20 tonnes par vingt-quatre heures. Enfin disons encore que les fours de Dowlais ont 6 mètres de longueur sur 3 mètres de largeur, et 4 à 5 mètres de hauteur.

Tous ces fours n'ont des embrasures de tirage que sur l'une des longues faces. Les ouvertures elles-mêmes ont $0^m,50$ à $0^m,60$ de hauteur, et occupent, sauf les piliers destinés au soutien de la maçonnerie, toute la longueur du four. Au-dessus de ces ouvertures il y a, dans le fond des embrasures, une série de carneaux pour l'entrée de l'air.

On charge le minerai sans le concasser et parfois en fragments très-gros. C'est un défaut de soin que Truran lui-même blâme. La perte en poids des minerais lithoïdes est, en moyenne, de 25 à 30 p. 100. Celle des blackband va jusqu'à 50 p. 100, tandis que le minerai du Cleveland ne perd que 25 p. 100.

D'après Truran, on ne consomme, pour le grillage des minerais houillers, que 5 p. 100 de son poids en houille menue, le tiers de ce que l'on brûle en plein air. La dépense totale est de 30 centimes, savoir :

	centimes.	
Main-d'œuvre.	10	
Houile menue 50 kil.	15	(*a*)
Intérêt du capital; entretien des fours, etc.	5	
Total.	30	

(*a*) Dans les usines du Yorkshire, on se sert de coke menu.

Ajoutons qu'un four, pouvant griller 20 tonnes par vingt-quatre heures, ou 7.000 tonnes par an, coûte 160 liv. L'intérêt, calculé à 5 p. 100 par an, est de 8 liv. ou $201^f,60$, soit par tonne $\frac{201^f,60}{7.000} = 0^f,03$.

§ 5. *Préparation de la Castine.*

En général la castine est tout au plus grossièrement concassée. A ce point de vue, comme sous beaucoup d'autres, on rencontre moins de soins dans les usines anglaises que dans celles du continent.

Dans quelques établissements on transforme cependant la castine en chaux vive. De grands fours à chaux sont établis à côté des hauts fourneaux. On constate dans ce cas, comme nous le verrons, une certaine économie, bien faible pourtant, sur le poids du combustible consommé.

Nous avons rencontré l'usage de la chaux vive, employée comme fondant en place du calcaire, dans les forges de Sir-Howy et de Cyfarthfa (pays de Galles), et à Russel-Works, près de Dudley (Staffordshire).

CHAPITRE II.

PROFILS ET DIMENSIONS DES HAUTS FOURNEAUX.

§ 1. *Degré d'importance de ces dimensions.*

Nous ne sommes plus au temps où l'on attachait une extrême importance aux moindres détails du profil d'un haut fourneau. On ne cherche plus à copier, d'une façon servile, telle coupe spéciale, ayant donné des résultats satisfaisants dans quelque usine de renom. On comprend aujourd'hui que quelques degrés de plus ou de moins de la pente des étalages, ou telle forme plus ou moins insolite de l'ouvrage et de la cuve ne saurait avoir une bien grande influence sur la marche des hauts fourneaux.

Au reste, les auteurs des *Voyages métallurgiques* reconnaissent déjà « que les dimensions des fourneaux

« ne nécessitent pas autant de changements qu'on « pourrait le supposer d'après la variation des com- « bustibles et des minerais (1). »

Mais les maîtres de forges anglais sont peut-être tombés, à cet égard, dans un excès opposé.

Ils traitent, en général, leurs hauts fourneaux, qu'on nous passe ce terme, par trop CAVALIÈREMENT. Souvent on charge pêle-mêle minerais, castine et combustible, et dans une même usine, on voit essayer les formes les plus variées, presque au hasard et sans motifs plausibles.

Si l'on peut, en effet, modifier sans inconvénients certaines dimensions, il en est d'autres qu'on ne saurait changer impunément. Ainsi, dans la région des tuyères, il faut nécessairement une température capable de fondre le minerai, et, par suite, un ouvrage dont les dimensions soient comprises entre certaines limites. Il faut aussi que les matières minérales descendent avec une certaine lenteur, et n'atteignent pas dans un temps trop court une température élevée, sinon la fusion pourrait précéder la réduction, ou du moins celle-ci ne se faire qu'avec consommation de charbon solide.

Rapport entre le volume de la cuve et la production.

Il y a par suite un certain rapport entre le volume de la cuve et la masse de vent, ou entre le volume et la production du fourneau.

La marche du fourneau n'est plus économique lorsque, par tonne de fonte, le volume de la cuve descend au-dessous d'un certain *minimum*. Nous verrons quel est ce minimum dans les usines anglaises.

Diamètre du gueulard.

Un autre élément important des hauts fournaux est le diamètre du gueulard. On sait que les produits ga-

(1) Tome Ier, p. 372.

zeux des hauts fourneaux ont une tendance naturelle à suivre les parois de la cuve. D'autre part, on a récemment constaté que la colonne centrale descend plus rapidement que l'anneau extérieur, et que le minerai surtout marche plus vite que le combustible (1).

Ainsi, précisément, la partie de la charge qui est le moins exposée aux agents réducteurs est celle qui séjourne le moins longtemps dans la zone de réduction. Ce défaut s'aggrave naturellement à mesure que l'on agrandit le diamètre du gueulard, surtout lorsqu'en même temps on soutire le gaz par des ouvertures faites dans les parois du fourneau, et que le chargement a lieu à l'aide de wagons à trappes, qui favorisent le tassement des matières au centre et l'accumulation des gros fragments vers la circonférence. Cet inconvénient a été senti dans plusieurs usines où l'on traite des minerais peu réductibles, eu égard à leur fusibilité. Ainsi, au Ponzin, on n'a pu porter le diamètre du gueulard de $1^{m},60$ à 2 mètres, le ventre ayant $4^{m},50$ sans troubler la marche du haut fourneau (2).

En Angleterre, l'inconvénient des gueulards larges se fait cependant moins sentir qu'en France par une double raison : les minerais houillers sont tous grillés et très-réductibles; puis on charge à la brouette, et presque toujours des fragments de minerai et de combustible très-gros, ce qui rend la colonne centrale plus perméable.

(1) Mémoires de MM. Wachler et Schultze dans le t. III du journal de Carnall, et de M. Stahlschmidt dans le t. V, p. 135 du même journal.

(2) Le docteur Parry cite aussi un haut fourneau du pays de Galles (dont on soutirait le gaz par la circonférence) qui marchait mal avec un gueulard de 4 mètres, et allait fort bien lorsque le diamètre se trouvait réduit à $2^{m},30$. (*Revue de Liége*, t. VI, p. 194.)

Malgré cela, même M. Truran, le promoteur des gueulards larges, reconnaît que les fourneaux ainsi disposés se dérangent aisément lorsqu'on soutire le gaz par la circonférence. On y remédie jusqu'à un certain point par un mode de chargement spécial dont nous parlerons dans le chapitre suivant, mais on ne peut entièrement prévenir ces dérangements qu'en ayant recours à un appareil de prise centrale, plus ou moins analogue à celui que l'on doit à M. Coingt de Montluçon.

§ 2. *Divers types de hauts fourneaux.*

Il y a trente ans, lorsque les auteurs des Voyages métallurgiques visitèrent l'Angleterre, la plupart des hauts fourneaux étaient établis suivant un type unique. C'étaient des fourneaux à étalages et à gueulards généralement rétrécis. Cependant on commençait déjà, soit dans le pays de Galles, soit en Écosse, à supprimer, dans plusieurs usines, l'ouvrage proprement dit, et à rapprocher le profil intérieur de celui de deux troncs de cône accolés base à base. Quelques hauts fourneaux gallois furent aussi pourvus dès cette époque de gueulards larges, ayant jusqu'à 8, 10 et 12 pieds de diamètre (1).

Les usines anglaises renferment deux types principaux de hauts-fourneaux.

Aujourd'hui on peut distinguer en Angleterre deux types principaux : les hauts fourneaux *à ouvrage* (Pl. VI, *fig.* 4 à 9) et les hauts fourneaux *sans étalages ni ouvrage* (*fig.* 1, 2 et 10 à 12).

Ce qui les différencie l'un de l'autre, c'est l'élargissement plus ou moins rapide de la cuve au-dessus des tuyères, ou, en d'autres termes, la section du fourneau dans la région de fusion. On conserve l'ouvrage lorsque

(1) *Voyages métallurgiques*, t. I, p. 305, 307, 359 et 365.

les minerais sont peu fusibles (spécialement alumineux), et lorsque la fonte exige pour sa production une température élevée. Ainsi, dans le district du Cleveland, dont les minerais sont réfractaires, presque tous les hauts fourneaux ont un ouvrage et des étalages (*fig.* 7, 8 et 9), quelle que soit d'ailleurs la nature de la fonte. En Écosse, où l'on fond à l'air très-chaud des minerais riches, réductibles et fusibles, on a partout supprimé les étalages, et l'on obtient malgré cela des fontes très-noires.

Dans le pays de Galles et le Staffordshire, dont les minerais lithoïdes sont aisés à réduire et à fondre, on produit, à l'air *chaud*, la fonte de forge ordinaire dans des fours généralement sans ouvrage (*fig.* 3 et 10 à 13); tandis que, dans ces mêmes districts et celui du Yorkshire, lorsqu'on veut produire des fontes grises supérieures (de moulage ou de forge), surtout à l'air *froid*, on a presque toujours recours aux hauts fourneaux pourvus d'étalages (*fig.* 4 à 6 et 15).

Du reste, comme les minerais houillers anglais sont moins fusibles que les blakband écossais, les hauts fourneaux sans étalages sont par cela même moins fréquents en Angleterre qu'en Écosse, et même dans les usines où l'ouvrage proprement dit a été supprimé, on a remédié en quelque sorte à son absence en plaçant le ventre à une très-grande hauteur, comme à Dowlais et à Ebbwvale (*fig.* 10, 11 et 15). C'est le pendant des flussofen de Styrie.

Quand on compare ces profils gallois à ceux du district écossais (*fig.* 1 et 2), on voit d'ailleurs qu'au-dessous du ventre ces derniers présentent un certain évasement qui rend la région de fusion très-large en Écosse, et relativement étroite dans les usines du pays de Galles.

Évidemment, même dans le Royaume-Uni, on ne

pourrait impunément adopter tel profil plutôt que tel autre, sans avoir égard à la fusibilité des minerais et à la nature de la fonte à produire. En France, à plus forte raison, dont les minerais sont en général peu fusibles, il serait évidemment peu rationnel d'adopter, pour les parties inférieures, des profils aussi larges que ceux des fourneaux écossais.

Au point de vue de la réduction économique, nous ne pensons pas, du reste, que l'on doive rechercher les profils à ventre élevé. Mieux vaut agrandir la cuve en abaissant le ventre, puis rétrécir le bas en passant graduellement à l'ouvrage proprement dit (*fig.* 16) par une courbe à double inflexion.

Influence de la hauteur des fourneaux.

Les hauts fourneaux anglais diffèrent considérablement les uns des autres sous le rapport de la *hauteur;* il en est qui n'ont que 30 pieds et d'autres jusqu'à 60 pieds anglais (9 à 18 mèt.).

Cet élément influe essentiellement sur le volume de la cuve, et par suite sur le produit maximum du fourneau. A ce point de vue, il est plus ou moins arbitraire. Néanmoins, plus la hauteur est grande et plus la pression du vent doit être forte pour vaincre la résistance au mouvement des gaz, surtout lorsque les minerais sont pulvérulents et le combustible friable. C'est l'état du combustible surtout qui paraît avoir motivé les différences de hauteur des fourneaux anglais. Les moins élevés sont ceux du district anthraxifère des environs de Swansea. Les anciens fours d'Yniscedwyn n'avaient que 30 pieds, et les fours actuels d'Ystalifera et d'Yniscedwyn n'ont que 36 à 40 pieds (11 à 12 mèt.). La friabilité de l'anthracite et sa tendance à décrépiter rendent raison de cette faible hauteur.

Dans le centre de l'Angleterre, où la houille est sèche et à longue flamme, les hauts fourneaux dépas-

sent rarement 40 à 45 pieds (12 à 13m,50), et bon nombre n'ont encore aujourd'hui que 35 ou 36 pieds. Ici encore la friabilité du coke permet difficilement des dimensions plus fortes, à moins d'une pression de vent exceptionnelle.

Dans le pays de Galles, le coke est plus résistant; mais lorsqu'on emploie la houille à l'état cru, elle se brise également et s'oppose à l'emploi de fours très-élevés. La plupart ont 42 à 46 pieds (13 à 14 mèt.).

Le maximum est de 48 pieds 1/2 (14m,80).

Les hauts fourneaux les plus élevés se rencontrent dans le Cleveland, où l'on marche au coke solide, bien aggluliné, du bassin de Newcastle.

Là quelques fourneaux modernes mesurent 50 et même 60 pieds (15 à 18 mèt.); mais le plus grand nombre n'ont également que 12 à 14 mètres.

En Écosse, malgré la houille crue à longue flamme, certains fourneaux ont de même 16 à 18 mètres, tandis que la hauteur ordinaire est de 43 à 48 pieds (13 à 14m,50).

On n'a pas observé d'ailleurs que la marche de ces fourneaux exceptionnels soit plus économique que celle des appareils ordinaires, et en général il semble plus rationnel, lorsqu'on veut arriver à de très-fortes productions, d'accroître le diamètre du ventre plutôt que la hauteur de la cuve. Ainsi, dans le pays de Galles, des fourneaux de 46 à 48 pieds ont jusqu'à 20 pieds de diamètre au ventre.

§ 3. *Rapport de la production au volume des hauts fourneaux.*

Revenons maintenant au rapport qui lie la production au volume du fourneau. A cet effet résumons, dans le tableau ci-contre, les dimensions principales des hauts fourneaux anglais.

NOMS DES USINES.	Hauteur totale.	Hauteur du ventre.	Hauteur de l'ouvrage ou du creuset (1).	Diamètre du gueulard.	Diamètre du ventre.	Diamètre au niveau des tuyères.	Volume de la cuve entière en mètres cubes.	Production par 24 heures en tonnes.	Nombre de mèt. cubes du vide intérieur par tonne de fonte.	NATURE de la fonte.	Rendement du minerai grillé.	OBSERVATIONS.
Hauts fourneaux ordinaires d'Écosse (fig. 1).	mèt. 14 à 15	mèt. 6 à 7	mèt. 0,90 à 1,40	mèt. 2,50 à 2,70	mèt. 4,30 à 5,50	mèt. 1,80 à 2,10	m. cub. 150 à 160	ton. 20 à 21	m. cub. 7,50 à 8	Noire de moulage.	p. 100 55 à 60	(2)
Hauts fourneaux anciens d'Écosse (1833).	12 à 13	4 à 5	2,25 à 2,50	2,50 à 2,70	3,60 à 4,60	0,90 à 1,10	85 à 90	9	9,50 à 10	id.	45 à 50	(3)
Hauts fourneaux d'Écosse du type élevé (fig. 2).	16 à 18	8 à 9	1 à 1,20	3 à 3,40	4 à 4,60	2,40	200	26	7,70	id.	48 à 55	(4)
Hauts fourneaux de Bilston, n° 3 (Staffordshire), grandeur exceptionnelle (fig. 3).	14	5,50	1	3,35	4,50	2,40	175	24	7,30	Grise de forge.	45 à 48	(5)
Hauts fourneaux modernes de Staffordshire (fig. 4).	12,50 à 13,50	4 à 4,50	2 à 2,10	2,80 à 3	4 à 4,50	1,80 à 1,90	120 à 130	16 à 20	6,5 à 7	id.	45 à 48	(6)

(1) Lorsque la hauteur est au-dessous de 1m,40, il n'y a pas d'ouvrage proprement dit.
(2) Les minerais sont très-fusibles et très-réductibles. On marche à la houille crue. Gaz non utilisé. Air très-chaud.
(3) On ne traitait pas alors uniquement du blackband. Gaz non utilisés. Air chaud. Houille crue.
(4) Gaz non utilisés. Air très-chaud. Houille crue.
(5) Minerai houiller. Air chaud. Moitié houille, moitié coke. Gaz non utilisés.
(6) Comme ci-dessus. La proportion de houille et de coke est variable; quelques fourneaux marchent au coke seul. On ajoute peu de scories.

NOMS DES USINES.	Hauteur totale.	Hauteur du ventre.	Hauteur de l'ouvrage ou du creuset.	Diamètre du gueulard.	Diamètre du ventre.	Diamètre au niveau des tuyères.	Volume de la cuve entière en mètres cubes.	Production par 24 heures en tonnes.	Nombre de mèt. cubes du vide intérieur par tonne de fonte.	NATURE de la fonte.	Rendement du minerai grillé.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	m. cub.	ton.	m. cub.		p. 100	
Hauts fourneaux anciens du Staffordshire (1840 à 1850)	12 à 13	4 à 4,20	2 à 2,10	1,70 à 2	3,50 à 3,60	1,35 à 1,50	70 à 75	10	7 à 7,50	Grise de forge.	45 à 48	(1)
Hauts fourneaux neufs de Yniscedwyn et d'Ystalifera près de Swansea (pays de Galles) (fig. 5)	11 à 12	5 à 5,50	2	2,60 à 3	3,60 à 4	1,35 à 1,50	80 à 85	10 à 12	7 à 8	Grise de moul. et de forge.	40 à 45	(2)
Hauts fourneaux de Blaenavon (pays de Galles) (fig. 6)	15	4,90	1,80	2,40	4	1,35	110	14 à 15	7,5	Grise de moul. et de forge, très tenace.	36 à 38	(3)
Hauts fourneaux de l'usine de Tees-Side à Middlesboro (Cleveland) (fig. 7)	17,25	10	2,70	3	4,90	2,10	195 à 200	30	6,6	Fonte de forge gris clair.	40	(4)
Autre haut fourneau moderne de Middlesboro (fig. 8)	15,25	4,95	1,90	2,40	4,54	1,90	175	25 à 30	6,5	*id.*	40	(4)
Hauts fourneaux ordinaires de Middlesboro, bâtis vers 1850 à 1855 (fig. 9)	12	5	1,80	2,50 à 3	4,50 à 5,20	1,40 à 1,90	135 à 140	20 à 25	6 à 6,5	*id.*	40	(4)

(1) La plupart marchaient à l'air froid et au coke. Il y a trente ans beaucoup de hauts fourneaux n'avaient que 9 à 12 mèt. de hauteur; leur volume était de 50 à 55 mètres cubes, et la production, de 7 tonnes par 24 heures.

(2) Air chaud. On marche à l'anthracite. On utilise les gaz à Ystalifera, mais non à Yniscedwyn.

(3) On marche à l'air froid et au coke, uniquement en minerais houillers. Les hauts fourneaux de Pontypool sont dans des conditions identiques.

(4) On marche au coke. On fond le minerai du Cleveland grillé à l'air chaud. Gaz utilisés.

NOMS DES USINES.	Hauteur totale.	Hauteur du ventre.	Hauteur de l'ouvrage ou du creuset.	Diamètre du gueulard.	Diamètre du ventre.	Diamètre au niveau des tuyères.	Volume de la cuve entière en mètres cubes.	Production par 24 heures en tonnes.	Nombre de mèt. cubes de vide intérieur par tonne de fonte.	NATURE de la fonte.	Rendement du minerai grillé.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	m. cub.	ton.	m. cub.		p. 100	
Grand haut fourneau de Dowlais (pays de Galles) fig. 10)	14,75	9,20	0,75	3	6,10	2,40	230 à 235	45 à 50	5	Blanche, lamelleuse ou grenue.	40 à 42	(1)
Hauts fourneaux d'Ebbwvale (pays de Galles) (fig. 11)	14,65	6 à 7	0,90 à 1,35	3 à 3,20	4,80 à 5,50	1,80 à 2,25	160 à 170	25 à 30	6	Blanche, fibreuse et grenue.	38	(2)
Hauts fourneaux ordinaires de Dowlais (fig. 12)	13 à 14,50	6 à 8	0,75 à 0,90	2,80 à 3,30	4,50 à 5,20	1,90 à 2	140 à 150	25	5,6 à 6	*id.*	40 à 42	(3)
Hauts fourneaux de Victoria (pays de Galles) (fig. 14)	13,40	5	1,35	2,25	4,70	2,10	115 à 120	24	5	*id.*	38	(4)
Hauts fourneaux de Triédegare (pays de Galles)	13	4,50	1,80	2,90	4,60	2	120 à 125	20 à 22	6	*id.*	37 à 38	(5)
Hauts fourneaux de Sir-Howy	13,10	4,50	1,35	2,40	4,40	2,10	105	20 à 21	5	*id.*	38	(6)

(1) On marche à l'air chaud, au mélange de houille crue et de coke avec forte addition de scories et sans utiliser les gaz.

(2) Air chaud. Gaz utilisés. 1/3 de houille et 2/3 de coke. 15 à 20 p. 100 de scories.

(3) Air chaud. Mélange de houille crue et de coke; plusieurs hauts fourneaux ne reçoivent que de la houille; gaz non utilisés. 25 à 30 p. 100 de scories.

(4) Air chaud, 2/3 de coke et 1/3 de houille. Gaz utilisés. 25 p. 100 de scories.

(5) Air chaud. Moitié coke et moitié houille crue. 25 à 30 p. 100 de scories.

(6) Air chaud. Moitié coke, moitié houille. Gaz utilisés. Chaux vive comme fondant. 15 à 20 p. 100 de scories.

Observations concernant le tableau précédent.

Lorsqu'on parcourt ce tableau et que l'on consulte en outre les profils des fourneaux, on est frappé de voir combien est faible l'influence des dimensions sur la production *relative* des divers fourneaux.

Les plus grands fourneaux modernes ne rendent pas, proportionnellement à leur volume, plus de fonte que les fourneaux anciens. Si la production par appareil a plus que doublé depuis vingt-cinq à trente ans, leur volume aussi s'est accru dans le même rapport : en Écosse, de 90 à 200 mètres cubes; dans le Staffordshire, de 50 ou 55 à 125 mètres cubes; dans le pays de Galles, de 60 ou 70 à 140 ou 150 mètres cubes.

La principale différence, comme on devait s'y attendre, tient à la nature de la fonte.

Lorsque la fonte est grise ou noire, propre au moulage, comme en Écosse et dans certaines usines du pays de Galles et du Staffordshire, on trouve que par tonne de fonte produite dans les vingt-quatre heures, le vide intérieur est de 7 à 8 mètres cubes.

Pour la fonte de forge grise du Staffordshire, $6^{mc},5$ à 7 mètres cubes. Dans le cas de la fonte de forge gris-claire ou truitée du Cleveland, $6^{mc},5$; et pour la fonte de forge blanche du pays de Galles, 5 à 6 mètres cubes (1).

Ces chiffres n'ont rien d'exceptionnel, et s'accordent parfaitement avec les résultats fournis par les usines du continent.

La production des hauts fournaux au charbon de bois est même en général un peu plus forte. Comme résultats extrêmes, on peut citer les flussofen de Styrie

(1) Lorsqu'on force la production, ainsi que cela arrive parfois à Dowlais, au détriment de la consommation et du rendement, on ne trouve que 4 mètres cubes.

et de Carinthie, dont la capacité est de 2 à 3 mètres cubes par tonne de fonte, et surtout les hauts fourneaux de Toscane, qui ne mesurent par chaque tonne qu'un mètre cube. Il est vrai que dans ce dernier cas la production est évidemment exagérée et ne s'obtient qu'aux dépens de la consommation du combustible. La descente des charges s'y fait en quatre à cinq heures, et l'acide carbonique provenant de la réduction du minerai reproduit sans cesse de l'oxyde de carbone au contact du charbon incandescent.

§ 4. *Dimensions et formes des éléments accessoires.*

Creusets des hauts fourneaux.

La forme et les dimensions des creusets sont extrêmement variables dans les hauts fourneaux anglais. On en peut juger en jetant les yeux sur la Pl. VII de Truran.

Les uns sont rectangulaires, les autres octogones ou circulaires. Cette dernière forme est évidemment la plus rationnelle; mais lorsque le diamètre est grand ($1^{m},80$ à $2^{m},40$), il est essentiel de faire converger graduellement les costières vers la tympe et l'avant-creuset.

La disposition des tuyères dépend de celle du creuset. Lorsque le creuset est rectangulaire, on place une, deux ou trois tuyères parallèles dans chacune des faces; lorsqu'il est rond, les diverses tuyères sont régulièrement espacées et convergent toutes vers le centre du creuset. On en voit alors quelquefois jusqu'à huit ou dix.

Forme extérieure des hauts fourneaux.

A l'extérieur, la forme des haux fourneaux anglais varie autant qu'en France.

Le plus grand nombre, parmi les constructions modernes, sont coniques ou cylindriques avec base quadrangulaire, octogone ou circulaire, et armatures cerclées. Les enveloppes en tôle ne se rencontrent en gé-

néral que dans le nord de l'Angleterre et en Écosse. Dans les usines les plus modernes, le massif extérieur repose souvent sur colonnes, afin de mieux dégager l'ouvrage et d'y faciliter les réparations qui se renouvellent souvent, là où les tuyères sont nombreuses. A Middlesboro, nous vîmes plusieurs fourneaux en construction, pourvus de douze colonnes, en dedans desquelles l'ouvrage proprement dit sera entièrement libre.

En Angleterre, comme sur le continent, on a renoncé aux parois réfractaires trop épaisses. Rarement on donne plus de 1 mètre à 1m,20 à celles de l'ouvrage.

Matériaux réfractaires employés en Angleterre.

On a cru longtemps en Angleterre que la partie inférieure des hauts fourneaux devait nécessairement être construite en grès ou poudingue (*millstone-grit*), et sur le continent, en Belgique spécialement, on pensait également, par esprit d'imitation, ne pouvoir se passer de matériaux réfractaires naturels. Aujourd'hui les briques ont presque partout, dans le Royaume-Uni, remplacé le millstone-grit, ce qui a rendu l'établissement des hauts fourneaux plus facile et bien moins coûteux.

Dans plusieurs usines, le Cleveland surtout, les costières, sous les tuyères et la pierre de tympe, se composent d'épaisses caisses en fonte à courant d'eau, simplement garnies de quelques briques du côté intérieur. Ailleurs le massif réfractaire du creuset et de l'ouvrage est enveloppé extérieurement de plaques de tôle que l'on peut refroidir par aspersion, à l'aide de nombreux tuyaux. On prévient ainsi la corrosion des parois, lorsqu'on marche en fonte blanche et laitiers noirs.

CHAPITRE III.

INSTALLATIONS ACCESSOIRES DES HAUTS FOURNEAUX.

§ 1. *Halles de coulées et de cassage.*

Les constructions accessoires qui entourent les hauts fourneaux sont en général fort simples en Angleterre, et même trop primitives à beaucoup d'égards. Dans le pays de Galles et le Staffordshire, on rencontre bien çà et là des halles de coulée en mauvais état et quelques hangars pour les chargeurs ou casseurs; mais, dans le Nord et en Écosse, presque tous les hauts fourneaux sont complétement libres et à découvert.

Les fondeurs et les chargeurs travaillent hiver et été à la belle étoile. Il est vrai que si le climat du Royaume-Uni est fort humide, il est moins *extrême* que le nôtre. Il n'y a jamais, dans ces contrées, ni grands froids ni grandes chaleurs, et si le ciel est habituellement brumeux, au moins les neiges abondantes et les pluies torrentielles y sont rares. Malgré cela, il faut la constitution robuste des ouvriers anglais pour supporter un pareil régime et une telle absence de confort qui contraste à tant d'égards avec celui de leurs demeures.

§ 2. *Monte-charges.*

La disposition générale des usines dépend de la configuration du sol. Dans le pays de Galles, la plupart des hauts fourneaux sont placés au pied de coteaux plus ou moins abruptes, et dans ce cas les fours de grillage et les aires de carbonisation occupent le haut du plateau au niveau du gueulard. (Dowlais, Cyfarthfa, Abersychan, Pontypool, Sir-Howy, Beaufort, Blaena-

von, etc.). Dans le Cleveland, toutes les usines sont en pays de plaine. Dans le Staffordshire et les environs de Glasgow, la plupart des hauts fourneaux occupent également un sol peu accidenté. Dans ce dernier cas, l'appareil élévatoire ordinaire des anciennes usines est le plan incliné, à machine fixe, que Truran condamne avec raison, comme incommode et fort dispendieux.

Dans les usines plus modernes, on rencontre surtout la balance d'eau et le monte-charge à cloche pneumatique. La balance d'eau est suffisamment connue et fréquemment employée en France. C'est un appareil commode, sauf en hiver au moment des gelées. La cloche pneumatique, presque exclusivement employée dans les usines neuves du Cleveland, est encore plus simple et moins sujette au dérangement. De tous les monte-charges, c'est évidemment le plus commode et le plus facile à installer. Il se compose d'un gazomètre cylindrique en tôle, de la hauteur du haut fourneau, plongeant dans un puits d'égale profondeur rempli d'eau. Un tuyau recourbé met l'intérieur de la cloche en communication avec le cylindre soufflant, et une soupape, placée au haut de la cloche, règle l'échappement. Le gazomètre, pourvu de galets de friction, se meut entre quatre montants qui vont jusqu'au niveau du gueulard. Il est d'ailleurs complétement équilibré par quatre chaînes à contre-poids passant sur des poulies. Un plateau de $1^m,80$ à $2^m,10$ de côté couronne la cloche et reçoit la charge et les ouvriers chargeurs qui montent et descendent ainsi chaque fois avec les wagons pleins et vides. Dès que le wagon est poussé sur le plateau, le chargeur agit sur la soupape d'admission, et la pression du vent élève la charge. Puis, avec le wagon vide, il regagne le sol, en réglant la vitesse de

descente à l'aide de la soupape d'échappement. Une seule cloche de $1^m,10$ à $1^m,30$ de diamètre peut ainsi desservir aisément trois hauts fourneaux. Le frottement est presque nul et la garniture parfaite, le travail du vent bien utilisé et les causes de dérangement extrêmement rares.

Truran montre qu'en admettant 3 pence pour frais de compression de 100.000 p. cub. de vent (prix du pays de Galles), les frais d'élévation par ce monte-charges ne dépassent pas (intérêts et amortissement compris) 3/8 de penny par tonne de fonte, ou environ 4 centimes.

Remarquons, en passant, qu'une pareille cloche pneumatique serait aussi, de tous les régulateurs à vent, le plus simple et le plus efficace.

§ 3. *Mode de chargement. Prise des gaz.*

Le gueulard des hauts fourneaux est le plus souvent libre, ou tout au plus surmonté d'une cheminée de 3 mètres à $3^m,50$ de hauteur, percé à la base de trois à cinq ouvertures. Dans ce cas, le chargement se fait à la brouette, ou, du moins, on ne se sert de wagons-basculeurs ou à trappes que pour des fourneaux à gueulard étroit, comme à Lowmoor.

Appareil distributeur conique.

Lorsqu'on utilise les gaz, on fait un fréquent usage d'un appareil de fermeture fort simple, qui sert en même temps d'appareil distributeur (1) (usines d'Ebbw-vale, Victoria, Dowlais, etc.).

Un cône en fonte ou en tôle agit comme tampon et vient butter, par la base de sa surface latérale, contre le rebord

(1) Cet appareil, recommandé par le directeur Parry, paraît déjà avoir été employé à Cyfarthfa vers 1800. En France, on s'en est servi à Commentry et à Montlucon, antérieurement à l'appareil Coingt.

inférieur de l'entonnoir conique fixé au pourtour du gueulard (*fig.* 11). Le cône est suspendu à un levier à contre-poids; la charge est versée à la brouette dans le sillon circulaire compris entre le cône et l'entonnoir; puis le cône, en s'abaissant, rejette le minerai et le combustible vers le pourtour de la cuve, tandis qu'il se produit au centre une sorte de fosse conique au fond de laquelle tendent à rouler les fragments les plus gros: ainsi la colonne centrale est rendue plus perméable, et l'on réagit contre la tendance des gaz à suivre les parois. Les produits gazeux sont alors aspirés par de simples ouvertures pratiquées dans les parois du fourneau, immédiatement au-dessus de la charge. Mais il est évident que dans le cas de fourneaux très-larges, cet appareil ne suffit pas pour prévenir entièrement la distribution inégale des gaz; il faudrait alors avoir recours, comme nous l'avons déjà dit, au système de prise centrale imaginé par M. Coingt.

Dans quelques établissements du Cleveland (Tees-Side) et du pays de Galles (Aberdare, Ystalifera, etc.) l'appareil à cône mobile, dont nous venons de parler, est remplacé par le système ancien à cylindre plongeur fixe, généralement employé sur le continent dans le cas de gueulards étroits (*fig.* 7).

§ 4. *Enlèvement des laitiers.*

Comme pendant des appareils, destinés au montage et au chargement du minerai, citons les moyens mécaniques employés par les fondeurs anglais pour l'enlèvement des laitiers. Rarement, dans les grandes usines anglaises, les laitiers se répandent librement, par-dessus la dame, sur le sol de la halle de coulée. Presque toujours on les reçoit directement dans de grands wagons basculeurs en tôle que des chevaux, ou plus fréquemment

des machines à vapeur fixes à câbles sans fin, amènent de suite par chemin de fer au haut des crassiers, dont l'élévation est parfois de 20 à 30 mètres. Il y a là une source d'économie notable de main-d'œuvre et de frais de transport, dont les usines françaises feront bien de profiter. La plupart des hauts fourneaux du pays de Galles fournissent par jour 40 à 50 tonnes de laitiers et les plus grands 60 à 80. Quelle dépense, s'il fallait les charger à bras d'hommes, et opérer les transports par voies de terre!

§ 5. *Soufflerie.*

Pour avoir de fortes productions, il ne suffit pas d'accroître le volume des fourneaux, il faut encore augmenter proportionnellement celui du vent. Depuis trente ans, il a fallu, par ce motif, plus que doubler, dans les usines anglaises, les dimensions des soufflerie.

D'autre part, l'exhaussement des fourneaux et le chauffage de l'air ont accru la résistance, de là, nouvelle nécessité de multiplier la puissance des appareils moteurs.

Autrefois on ne trouvait dans les usines anglaises que des machines de Watt à basse pression et condensation. Le cylindre soufflant, placé à l'une des extrémités du balancier, avait invariablement un diamètre double du cylindre moteur de l'autre bout.

Aujourd'hui on se sert plus souvent de machines à haute pression, avec ou sans détente, dont le cylindre moteur est par cela même relativement plus petit.

Les machines soufflantes horizontales sont rares en Angleterre. On a reconnu, comme sur le continent, que l'avantage résultant d'une installation simple et peu coûteuse, était plus que compensé, tant par l'usure ra-

Les machines horizontales sont rares.

pide et inégale des pistons et cylindres à air, que par la faible étendue de la course des pistons. Les appareils de cette sorte devraient être employés dans le cas seulement de volumes de vent peu considérables.

Machines verticales à traction directe.

Les machines verticales sans balanciers, à traction directe, sont également rares; mais, comme sur le continent, ce système si simple est certainement destiné à se répandre beaucoup. Une sorte de disposition mixte se rencontre dans plusieurs usines du pays de Galles. C'est une machine à balancier et à deux cylindres de Woolf. A l'une des extrémités du balancier pend la bielle du volant; du même côté, mais plus près de l'axe, se trouve le cylindre à haute pression; à l'autre bout du balancier, le deuxième cylindre moteur, d'un diamètre plus grand, et, verticalement au-dessous, à traction directe, le cylindre soufflant. Une machine de ce genre de 150 chevaux fut établie à Cyfarthfa en 1851. Une machine semblable de Woolf, avec condenseur, de la force de 300 chevaux, existe à Dowlais. Le petit cylindre moteur a 32 pouces, le grand 50.

Machines à tiroir.

Les machines à tiroir qui ont joui d'une faveur très-passagère en France, ne paraissent avoir été jamais adoptées en Angleterre; du moins, nous n'en avons rencontré nulle part. On a d'ailleurs récemment constaté au Creusot, la supériorité des machines à clapets au point de vue de leur effet utile. Tandis que le rapport du travail du vent à celui de la vapeur a été trouvé, pour une machine verticale à balanciers et à clapets, de

0,6825 0,687 et 0.690;

pour des vitesses de pistons de

$0^{m},76$ $1^{m},00$ et $1^{m},20$.

Celui de trois machines horizontales à tiroir a varié entre les nombres :

	m.
0,620 et 0,663 pour une vitesse de. . .	2,20
0,604 et 0,616.	1,82
0,417 et 0,460.	1,46

A la suite de ces expériences, la suppression des machines à tiroir fut décidée au Creusot.

Vitesse des pistons soufflants.

Les chiffres que nous venons de rapporter, prouvent que l'effet utile des machines verticales à clapets, s'accroît légèrement avec la vitesse des pistons. A ce point de vue, il y aurait donc avantage de marcher à grande vitesse. C'est, en effet, la tendance des constructeurs anglais; et on comprend qu'il en soit ainsi, puisque, indépendamment de l'effet utile plus élevé, on a de plus l'avantage d'obtenir, avec des appareils de dimensions données, un volume de vent plus grand.

La vitesse ordinaire des anciennes machines soufflantes de Watt était au maximum de 1 mètre par seconde; aujourd'hui on cherche à atteindre, en Angleterre, la moyenne de 2 mètres. On a même essayé, dans quelques établissements, celle de 3 mètres, mais l'ébranlement de tout l'appareil est alors tel que sa conservation en est compromise. Même à 2 mètres, il faut une machine simple, sans organes nombreux. Celles de Watt résisteraient difficilement. Il faut, de plus, pour ne pas gêner le mouvement de l'air, de grandes courses de pistons et de vastes entrées d'air.

Dans la plus grande machine soufflante de l'Angleterre, la machine monstre de Dowlais, le rapport des orifices d'aspiration à la superficie du piston soufflant est de plus de 0,50. Nous avons vu marcher cette machine à la vitesse de $2^{m},04$ par seconde (17 oscillations doubles) sans vibrations sensibles et sans fatigue pour les clapets ou les autres organes de l'appareil.

M. Truran assure même qu'elle peut marcher à dix-neuf tours par minute ou $2^{m},29$ de vitesse. Cette énorme machine est de la force nominale de 500 chevaux. Le moteur est à haute pression et sans condensation. Le cylindre moteur a 55 pouces ($1^{m},37$) de diamètre, la course du piston est de 13 pieds ($3^{m},95$), la pression de la vapeur de 40 lb. par pouce carré ($2^{atm},8$). Le balancier (à deux bras inégaux) est de 42 pieds de longueur. Les chaudières au nombre de huit, sont chauffées par les gaz de deux hauts fourneaux. Le piston soufflant a 12 pieds de diamètre et 12 pieds ($3^{m},65$) de course. Le jour de notre visite, cette machine colossale soufflait six hauts fourneaux et quatre mazeries.

La machine de Dowlais dont nous venons de parler, a sans doute des dimensions exceptionnelles, et on peut même se demander s'il est réellement utile de faire ainsi dépendre, d'un seul appareil soufflant, la marche de six ou huit hauts fourneaux. Il faut, dans tous les cas, des machines de rechange. Mais ce qui est certain, c'est que les machines verticales à clapets, à grande course et à 2 mètres de vitesse, sont aujourd'hui générales dans les usines anglaises les plus modernes, celles du Cleveland surtout; et que les anciens cylindres soufflants de $1^{m},50$ à 2 mètres de diamètre et de course sont en grande partie remplacés par des cylindres et courses de $2^{m},40$ à 3 mètres. Au lieu d'une force de vingt-cinq à trente chevaux par haut fourneau (1) on compte aujourd'hui soixante à soixante-quinze chevaux et plus. Mais il faut se rappeler que ces modifications seraient loin de produire tout leur effet, si en même

(1) *Voyages métallurgiques*, t. I, p. 317 et 250.

temps les clapets n'étaient aussi nombreux et aussi largés que possible.

C'est par l'ensemble de ces modifications, comprenant à la fois les chaudières, la machine motrice et l'appareil soufflant que l'on est parvenu en Angleterre, comme le constate M. Truran, à réduire, dans le rapport de 2 et même de 3 à 1, la consommation de la houille par mètre cube de vent fourni.

En effet, les anciennes machines soufflantes d'Écosse ne produisaient, vers 1830, par livre de houille que 400 pieds cubes de vent; tandis que les machines modernes de Dowlais arrivent à 8 ou 900, et même la machine monstre ci-dessus mentionnée, à 1.328 pieds cubes (selon M. Truran).

Ajoutons cependant que le pouvoir calorifique des houilles du pays de Galles est d'un tiers, sinon de moitié, plus élevé que celui des houilles de Glasgow; qu'ainsi une partie de la différence de consommation doit être mise sur le compte de la qualité des charbons.

Dans le Cleveland et un certain nombre d'usines du pays de Galles les chaudières sont chauffées au gaz. Elles ont fréquemment la forme des chaudières cylindriques du Cornwall à chauffe intérieure.

§ 6. *Appareils à air chaud.*

Le vent des hauts fourneaux est généralement chauffé en Angleterre. On n'a conservé l'air froid que dans les usines où l'on cherche à produire des fontes et des fers exceptionnellement tenaces (Lowmoor, Bowling, Pontypool, Blaenavon et quelques usines du Staffordshire). Le plus souvent on chauffe l'air jusqu'au point de fusion du plomb (320 à 330°) et en Écosse, dans plusieurs usines, jusqu'à 400°.

Les appareils employés sont encore, à quelques modifications près, conformes à ceux qu'ont fait connaître les auteurs des *Voyages métallurgiques*.

Dans le Cleveland et en Écosse on se sert spécialement de l'appareil à siphons connu en France sous le nom de système *Calder*. Seulement, comme au reste dans plusieurs usines du continent (Belgique), on donne aux siphons une forme plus ou moins aplatie au lieu de l'ancienne section circulaire. C'est évidemment un progrès au point de vue du chauffage; par contre la résistance au mouvement de l'air se trouve légèrement accrue.

Dans quelques établissements on a établi un appareil par embrasure, ailleurs un seul très-grand pour l'ensemble des tuyères. On assure qu'il est plus aisé de chauffer, d'une façon uniforme, un vaste appareil qu'un petit. Quoi qu'il en soit, à cet égard, on semble néanmoins donner la préférence aux appareils multiples, car dans les usines neuves du Cleveland, on en voit constamment deux entre deux hauts fourneaux contigus, placés sur la ligne même de l'ensemble des fourneaux.

Appareil Calder modifié.

Dans quelques forges, on a légèrement modifié l'appareil Calder ordinaire pour remédier à l'inconvénient de l'usure rapide des tuyaux à leur point de courbure; nous citerons *Clarence-Works*, près de Middlesboro. On supprime le coude de raccordement au sommet du siphon, et chacune des branches montantes, légèrement arquée et complétement indépendante du demi-siphon opposé, se trouve fermée par le haut, mais pourvue à l'intérieur d'une cloison qui oblige l'air de parcourir successivement, en montant et en descendant, les deux moitiés du tube en question (*fig.* 17).

Ailleurs, dans l'usine de Gartsherrie en Écosse, on a compliqué la courbure des demi-siphons pour accroître l'étendue de la surface de chauffe (*fig.* 18 à 20). Nous décrirons plus loin cet appareil singulier, qui pour des avantages assez incertains, nous semble offrir l'inconvénient grave de pièces difficiles à mouler et sujettes à se rompre par le jeu inégal des dilatations et des retraits. En général, plus un appareil est simple et plus il a de mérites aux yeux du praticien; or, à ce point de vue, le système Calder ordinaire, dont les siphons sont à section oblongue, nous paraît l'emporter sur tous les autres, lorsqu'il s'agit d'opérer le chauffage du vent *par la combustion directe de la houille*.

Appareil à conduit unique.

Par contre, lorsqu'on a recours au gaz, les appareils du système *Wasseralfingen* sont préférables. Dans les usines du continent on les rencontre souvent; en Angleterre on paraît ne pas les connaître, mais à leur place on se sert, dans les usines du pays de Galles, d'un appareil héliçoïdal couché, composé, comme celui de Wasseralfingen, d'une ligne de tuyaux unique, mais qui n'a pas, comme lui, l'avantage d'avoir ses joints à l'abri du feu (Ebbwvale, Aberdare, etc.). Les tuyaux ont $0^m,20$ à $0^m,25$ de diamètre, ou sont parfois ellipsoïdaux ($0^m,28$ sur $0^m,18$) comme à Aberdare. Chacun d'eux comprend la moitié du pas de l'hélice; le diamètre extérieur de celle-ci est de près de 2 mètres et sa longueur d'environ 4 mètres. Les joints sont à brides, et l'hélice est placée tout entière dans un four ayant la forme d'un berceau cylindrique. Ce système ne vaut évidemment pas celui de Wasseralfingen. Les joints exigent des réparations trop fréquentes.

On y brûle d'ailleurs les gaz à la manière ordinaire. Ils pénètrent verticalement dans le fourneau, à l'une de ses extrémités, par une large buse aplatie, et l'air,

pour la combustion, y arrive en jets horizontaux, par une série de fentes étroites pratiquées dans la porte même de la chauffe. La grille est aussi, comme à l'ordinaire, maintenue couverte de houille incandescente pour éviter les explosions.

On voit par l'ouvrage de Truran (page 28) que l'on établit en général en Angleterre les appareils à air chaud, de façon à avoir approximativement 1 mètre carré de surface de chauffe par mètre cube de vent à chauffer. Cependant, dans le nouvel appareil de Gartsherrie, la surface de chauffe n'excède pas $0^{mq},80$. Il est d'ailleurs évident qu'il faut, comme pour les chaudières à vapeur, une surface de chauffe plus grande dans les fourneaux à gaz que dans les appareils où l'on brûle de la houille.

§ 7. *Tuyères et buses; pression, température et volume du vent.*

Influence des tuyères multiples.

La construction proprement dite des tuyères et des buses n'offre rien de spécial en Angleterre; on marche le plus souvent à tuyères fermées comme sur le continent. Mais on a singulièrement multiplié dans plusieurs districts leur nombre. Dans le pays de Galles et le Staffordshire on en rencontre 5 à 7, et en Écosse 8 à 10. Sans doute, lorsque le diamètre de l'ouvrage dépasse $1^{m},80$ à 2 mètres il est difficile d'arriver, à l'aide de 2 ou 3 tuyères, à une complète uniformité de température. Les expériences récentes de M. Tunner ont prouvé combien, dans ce cas, la chaleur variait d'un point à un autre de l'ouvrage des hauts fourneaux. Ainsi, en théorie, l'emploi d'un grand nombre de tuyères paraît fort rationnel. Dans la pratique, cependant, les avantages du système sont fort contestables. Les fourneaux ne marchent pas mieux; le rendement et la consommation ne sont point changés; tandis que l'entretien de l'ouvrage et des tuyères est rendu plus coûteux et plus difficile. Aussi semble-t-on en général revenir de nouveau à un nombre plus restreint de tuyères, et à des ouvrages moins larges, du moins lorsque les minerais ne sont pas très-fusibles. Dans le Cleveland, en particulier, dont les minerais sont réfractaires, on donne la préférence aux fourneaux à trois tuyères. Dans tous les cas on doit condamner le système qui consiste à ne pas placer toutes les tuyères au même niveau.

Ainsi, dans plusieurs forges du pays de Galles, on a deux tuyères par embrasure, à $0^{m},75$ au-dessus de la sole, et une septième dans la poitrine au milieu de la tympe à 1 mètre au moins au-dessus du fond (Dowlais); ou bien cinq tuyères, régulièrement espacées, et une sixième plus élevée sur le devant (Ebbwvale et Abersychan). On a constaté que la tympe est difficile à maintenir dans ce cas et la température trop intense vers la poitrine.

Ailleurs, à Ynescedwin et Ystalifera, on a trois tuyères par embrasure, dont deux à $0^{m}.75$ de hauteur et celle du milieu à $0^{m},15$ ou $0^{m},20$ au-dessus. De plus, à Ystalifera, une dixième tuyère dans la tympe. Il est vrai que celle du milieu, au moins à Yniscedwin, ne sert qu'en cas d'engorgement.

Pression du vent.

La pression du vent est généralement comprise, dans la plupart des forges, entre 2 1/2 et 3 lb. par pouce carré anglais ($0^{m},13$ à $0^{m},16$ de mercure).

Dans le district anthraxifère de Swansea elle est plus souvent de 3 à 4 lb. ($0^{m},16$ à $0^{m},21$), et la même pression élevée est nécessaire dans les fourneaux de 50 à 60 pieds (en Écosse), pour vaincre le surcroît de résistance due à la hauteur.

Température du vent.

La température du vent, lorsqu'on marche à l'air chaud, est ordinairement celle de la fusion du plomb (300 à 330°). En Écosse seule, elle atteint 400° dans quelques établissements.

On sait d'ailleurs que l'on marche à l'air froid lorsqu'on veut obtenir des produits tenaces.

Volume du vent.

Le volume du vent, ou le diamètre des buses, règle la production ; il dépend par suite du volume de la cuve. Lorsque le nombre des buses est considérable et néanmoins la production faible, comme à Ystalifera, le diamètre est de 2 pouces ($0^m,05$) seulement; mais le plus souvent on trouve des buses de 3 pouces à 3 1/2 pouces ($0^m,075$ à $0^m,087$). Elles ont jusqu'à 4 pouces ($0^m,10$), lorsqu'on marche à trois tuyères.

Connaissant la pression et la température de l'air, ainsi que le diamètre et le nombre des buses, on peut calculer le volume du vent. Mais le chiffre ainsi déterminé est toujours trop élevé, non-seulement parce qu'une partie du vent est refoulé au dehors, même avec des tuyères fermées, mais surtout parce que la formule suppose que l'écoulement se fait à l'air libre, et ne tient aucun compte de la résistance considérable que la charge du haut fourneau oppose à l'entrée du vent. On s'assure, en effet, facilement que le volume, ainsi calculé, est trop fort en le comparant au chiffre que l'on obtient lorsqu'on admet que l'oxygène, nécessaire à la transformation du carbone en oxyde de carbone, provient uniquement de l'air injecté. Et cependant, le volume ainsi calculé est déjà lui-même un *maximum*, puisque habituellement, et surtout lorsqu'on traite des minerais difficiles à réduire comme les scories de forge, une partie de l'oxygène provient de l'oxyde de fer. Il est donc plus exact de calculer le volume de l'air d'après le poids du combustible consommé,

en partant du fait qu'un kil. de carbone exige, pour sa transformation en oxyde de carbone, $5^k,80$ ou $4^{mc},46$ d'air sec ordinaire, mesuré à la température de 0° et sous la pression de $0^m,76$.

Volume de vent par tonne de fonte et mètre cube de la capacité des fourneaux.

On trouve ainsi, comme on le verra par le tableau du chapitre suivant, que par tonne de fonte noire il faut en Écosse 5.000 à 5.500 mètres cubes de vent; et comme on produit, dans les grands fourneaux écossais, 24 tonnes de fonte par vingt-quatre heures, ou une tonne par heure, le volume d'air consommé s'élève au maximum par minute à $\frac{5000 \text{ ou } 5.500}{60}$ mètres cubes $= 90$ mètres cubes, soit à peu près $0^{mc},50$ par mètre cube du vide intérieur des hauts fourneaux.

Dans le pays de Galles, les hauts fourneaux ordinaires, marchant en fonte de forge, reçoivent en général 5.000 à 5.800 mètres cubes par tonne de fonte, ou 80 à 95 mètres cubes par minute; mais comme leur volume est moindre, la plupart d'entre eux vont en réalité jusqu'à $0^{mc},65$ et même $0^{mc},75$ de vent par mètre cube du fourneau. Il en est de même du grand fourneau de Dowlais, qui reçoit 180 mètres cubes de vent pour une capacité de 230 mètres cubes.

Dans le Staffordshire et le Cleveland, où les minerais sont moins riches qu'en Écosse, on consomme à l'air chaud, par tonne de fonte grise, 6000 à 7000 mètres cubes de vent, ou $0^{mc},55$ à $0^{mc},65$ par mètre cube de la capacité intérieure. Enfin dans les fourneaux marchant à l'air froid et en fonte grise tenace (comme ceux de Blaenavon et de Pontypool), le volume d'air va jusqu'à 8000 mètres cubes par tonne de fonte, ou $0^{mc},70$ par mètre cube du vide intérieur.

CHAPITRE IV.

TRAVAIL ET ROULEMENT DES HAUTS FOURNEAUX.

§ 1. *Observations générales.*

Classification des fourneaux d'après les produits.

Les hauts fourneaux marchent pour fonte de *moulage* ou fonte de *forge*. Toutefois cette distinction n'est pas absolue. Souvent les mêmes hauts fourneaux donnent tour à tour, selon leur allure, les deux sortes de fonte; c'est même le cas général dans la plupart des usines où l'on cherche à obtenir des produits *supérieurs*. On considère alors comme fontes de moulage les gueusets les plus gris (les nos 1, 2 et 3) et comme fontes de forge les gueusets gris-clair (*bright*), truités (*mottled*) et blancs (*white*), que l'on désigne par les nos 4, 5 et 6.

Il en est ainsi à Blaenavon, Pontypool, Ystalifera, Yniscedwin, etc., dans le pays de Galles; à Lowmoor et Bowling, dans le Yorkshire, et dans bon nombre de forges du Staffordshire et du Cleveland. Mais en dehors de ces établissements *mixtes*, dont les produits s'appliquent à la fois au moulage et à l'affinage, il est d'autres usines, et même des districts entiers où l'on cherche à obtenir spécialement une seule catégorie de produits : dans le pays de Galles, des fontes de forge blanches, de qualité inférieure pour rails; en Écosse, des fontes brutes noires, pour la deuxième fusion; dans le Staffordshire, des fontes de forge, donnant de bons fers du commerce; et, dans le Cleveland, des fontes pour fers communs.

Influence du profil des fourneaux sur les produits.

Ces produits si divers dépendent en partie de la nature des minerais et de celle des combustibles, mais plus encore de l'allure que l'on imprime aux hauts

fourneaux, et même jusqu'à un certain point du profil que l'on adopte pour ces derniers.

Si, en Écosse, où les minerais sont faciles à traiter, on peut obtenir de la fonte grise, avec n'importe quel profil et même avec des sections exceptionnellement larges au niveau des tuyères, il n'en est plus de même dans le pays de Galles et le Staffordshire, dont les minerais sont moins fusibles, et encore moins dans le Cleveland, où l'on fond des carbonates alumineux. Là il faut, vers la région de fusion, des profils d'autant plus resserrés que l'air est moins chaud et la fonte plus grise.

Malgré ces différences et celles qui tiennent aux proportions relatives de minerai, de combustible et de castine, le travail des hauts fourneaux est néanmoins à peu près le même, qu'il s'agisse de fontes de moulage ou de fontes de forge; ce qui va suivre s'applique donc indifféremment à l'un et l'autre cas, sauf certains points spéciaux que nous aurons soin de signaler.

§ 2. *Chargement des hauts fourneaux; composition des charges.*

Le chargement des hauts fourneaux se fait à la brouette ou au waggon basculeur, et l'on sait déjà qu'en général ce travail laisse à désirer en Angleterre. M. Truran lui-même blâme le peu de soins apporté à cette opération, et recommande de substituer le pesage au simple mesurage, encore usité dans bon nombre d'usines.

Grandeur des charges.

La grandeur des charges varie d'une usine ou d'un district à l'autre, et quoiqu'il soit admis en général qu'un haut fourneau ne marche bien qu'avec des charges d'une certaine épaisseur, on semble au fond n'y attacher qu'une médiocre importance. Ce qui règle

les charges, c'est la marche plus ou moins rapide du fourneau. On s'arrange ordinairement de façon à avoir à charger quatre à cinq fois par heure, du moins dans le cas du cône distributeur; car lorsque le gueulard est libre, on charge, en quelque sorte, d'une façon continue; on maintient le fourneau constamment plein. La grandeur des charges devrait être par suite à peu près proportionnelle à la capacité des fourneaux; mais, en Angleterre, elles sont en général un peu faibles, surtout lorsqu'on les compare aux charges du continent. Rarement le volume du combustible dépasse un mètre cube lorsqu'on charge de la houille crue (7 à 800 kil.), ou 2 mètres cubes lorsqu'on marche au coke (800 kil.). On n'atteint ce chiffre que dans les plus grands fourneaux de Glasgow et du pays de Galles.

Dans quelques établissements, on mêle la castine au minerai, ce qui évidemment est fort rationnel; ailleurs on transforme au préalable la castine en chaux.

Les minerais anglais étant tous plus ou moins argileux, le calcaire ordinaire suffit comme fondant. Cependant, à Dowlais, lorsqu'on traite de fortes proportions de scories, ou un mélange de scories et d'hématites siliceuses, on ajoute quelquefois au calcaire une certaine proportion de schistes houillers.

Proportion de castine.

Quant à la proportion de castine, elle dépend évidemment de la nature du minerai et de celle de la fonte, de la pureté et de la proportion du combustible consommé. Par tonne de fonte produite, les extrêmes sont $0^t,40$ et $1^t,10$.

Dans le Staffordshire, où l'on traite surtout des minerais houillers riches, on charge en général, à l'air chaud :

Par tonne de fonte de forge, $0^t,45$ à $0^t,55$.

Et par tonne de fonte de moulage, $0^t,50$ à $0^t,60$.

Dans le pays de Galles, où les minerais houillers sont plus pauvres, la moyenne à l'air chaud, pour fonte de forge commune, est de $0^t,70$ à $0^t,80$ (ou bien $0^t,50$ de chaux vive).

Mais lorsque la proportion de scories et d'hématite rouge est forte, on ne dépasse pas $0^t,50$. Par contre, à Pontypool et Blaenavon, où l'on supprime entièrement les scories et presque entièrement l'hématite rouge, on monte par tonne de fonte de moulage à $0^t,90$ ou $1^t,0$, et à l'air froid jusqu'à $1^t,10$.

Cette consommation plus forte à l'air froid doit étonner, puisqu'en général on fait l'inverse pour éviter à l'air chaud la réduction de la silice. La marche opposée tient ici à la consommation plus forte de combustible, d'où résultent des cendres plus abondantes à fondre.

Enfin les minerais alumineux du Cleveland exigent en moyenne, par fonte grise de forge, $0^t,70$; et les blackband grillés d'Écosse à peine $0^t,40$, quoique pour fonte noire, à cause de leur extrême richesse de 55 à 60 p. 100.

§ 3. *Conduite des fourneaux; allure.*

Personnel d'un haut fourneau.

Le service d'un haut fourneau exige en général, par douze heures, deux chargeurs, deux fondeurs et deux chauffeurs, et outre cela, selon la disposition des lieux, quelques manœuvres pour l'enlèvement des laitiers et de la fonte, le roulage du minerai et du combustible. Dans quelques usines le personnel est même encore moindre. Ainsi à Yniscedwin huit hommes chargent cinq hauts fourneaux. Pour l'ensemble du service des plus grands hauts fourneaux, on peut admettre huit à dix hommes.

Travail des fondeurs.

Le travail spécial des fondeurs n'offre rien de particulier en Angleterre, si ce n'est que dans les districts où l'on marche en houille crue très-maigre (district de Swansea) ou très-sèche (district de Glasgow), le creuset se remplit facilement de fraisil peu combustible, ce qui exige alors des *purges* fréquentes au ringard et à la pelle. On facilite ce travail en installant, dans l'embrasure de travail, une petite grue, au crochet de laquelle le fondeur suspend ses outils. Pour favoriser l'expulsion du fraisil on marche d'ailleurs, dans bon nombre d'usines, à poitrine ouverte; un large jetde flammes s'échappe constamment de dessous la tympe. Dans les fourneaux à anthracite en particulier, il y a sous toute la tympe un espace libre de $0^m,08$ à $0^m,10$ de hauteur, par lequel le vent chasse sans cesse le fraisil incandescent.

Ailleurs, où l'inconvénient résultant de l'abondance du fraisil n'est pas à craindre, on fait souvent l'inverse. On gêne l'écoulement des laitiers en élevant la dame de 5 à 6 pouces au-dessus des tuyères. Le vent passe alors au travers de la couche des laitiers, reporte la combustion au centre de l'ouvrage et ménage les parois du creuset; c'est le cas des fourneaux où l'on traite beaucoup de scories.

Accidents troublant la marche régulière des hauts fourneaux.

A part la difficulté provenant de l'accumulation du fraisil, la conduite des hauts fourneaux anglais est en général extrêmement facile, grâce à la grande fusibilité et l'extrême réductibilité des minerais houillers. Les seuls minerais un peu réfractaires sont ceux du Cleveland, et encore ne sont-ils pas à comparer à nos minerais en grains de la période tertiaire; par suite, les engorgements et les allures trop chaudes sont rares et faciles à combattre. Plus souvent, dans les districts où l'on recharge les scories de forge et où l'on marche habituellement en fonte blanche grenue, on a à craindre une

allure trop froide et par suite la corrosion des parois de l'ouvrage.

Cet accident n'est pas rare dans les usines du pays de Galles. On le combat efficacement, outre le changement momentané de la charge et de la température du vent, en se servant de costières en fonte à courant d'eau, ou en aspergeant à diverses reprises la surface extérieure de l'ouvrage.

Allure normale des hauts fourneaux anglais.

L'allure que l'on cherche à conserver dépend de la pureté des minerais et de l'usage auquel on destine la fonte. Les minerais anglais étant tous plus ou moins phosphoreux (les hématites et fers spathiques exceptés), on est obligé d'adopter partout une allure relativement chaude. En France, dans les grandes forges à la houille, on peut marcher habituellement en fonte de forge blanche, lorsque la fusibilité des minerais le permet. Les fontes y sont assez pures pour donner de bons fers, malgré la marche très-rapide de l'affinage. En Angleterre, par contre, la proportion de phosphore est telle qu'un puddlage lent et prolongé peut seul donner de bons produits. Il faut donc que l'allure des hauts fourneaux soit chaude et la fonte plus ou moins grise. C'est en effet la marche généralement adoptée dans les usines du Cleveland et du Staffordshire, et surtout dans celles du Yorkshire (Lowmoor et Bowling). Mais c'est en Écosse particulièrement que l'allure est excessivement chaude, et par suite la fonte tout à fait noire. Cette température élevée, jointe à un dosage très-basique, parvient à faire passer la majeure partie du soufre dans les laitiers, et probablement aussi une fraction assez notable du phosphore. Enfin, c'est encore de la fonte grise que l'on cherche à produire dans les quelques forges du pays de Galles, qui fabriquent des fers de qualité supérieure.

Pour les rails seuls, et surtout les rails très-ordinaires (*rails américains*), on peut se permettre une allure plus froide. Alors, grâce à la température moins élevée, jointe à la forte proportion de scories, les fontes sont blanches grenues, peu carburées, et s'affinent rapidement au four de puddlage. Mais évidemment les fers restent crus, durs, peu tenaces, et conviennent tout au plus pour la fabrication des rails communs. Ainsi, à part cette fabrication spéciale des grandes usines du pays de Galles, la tendance générale, en Angleterre, est de marcher en fonte de forge grise. Cette circonstance explique en partie la forte consommation des hauts fourneaux anglais, comparativement à la plupart des forges du continent.

Aspect des laitiers.

L'aspect des laitiers dépend, on le sait, de l'allure des fourneaux. Dans les usines du pays de Galles, marchant en fonte pour rails, les laitiers sont toujours noirs, vitreux, plus ou moins bulleux. D'après Truran, ils renferment en moyenne 12 à 14 p. 100 d'oxyde de fer et bien souvent 15 à 20 p. 100. Cet ingénieur évalue à 250.000 tonnes le poids de fer perdu ainsi annuellement par les fonderies du pays de Galles (1). Il est vrai que le fer des laitiers provient surtout des scories de forges, et que leur réduction complète est impossible.

Dans les forges produisant de la fonte grise, les laitiers sont opaques, pierreux ou cristallins, de nuances généralement claires. Une couleur très-générale dans les usines anglaises, fondant des minerais houillers, est le *jaune olive*. Elle est due très-probablement au sulfures de manganèse, car elle apparaît partout où les laitiers sont à la fois sulfureux et manganésifères.

(1) Truran, p. 52.

Nous aurons, au reste, occasion de revenir sur ce point dans la description spéciale des districts de forge. Quant à présent, il nous suffira de rappeler que cette même nuance s'observe également dans les usines où l'on fond du minerai spathique manganésifère quelque peu pyriteux, du moins dès que les bases dominent dans le lit de fusion (1).

Influence du manganèse

Les analyses que nous aurons occasion de citer prouvent dans tous les cas que le manganèse et le soufre restent en majeure partie dans les laitiers, et qu'ainsi le manganèse est un véritable correctif au point de vue du soufre.

Les laitiers du Cleveland sont gris pierreux comme les laitiers ordinaires des usines françaises; la nuance jaune olive fait ici défaut; mais aussi les minerais liasiques fondus dans ce district renferment très-peu ou point de manganèse.

Composition des laitiers.

Le dosage du lit de fusion correspond, en général, dans les usines anglaises, au silicate neutre BS, ou même à un excès de base. La proportion de silice est le plus souvent au-dessous de 40 p. 100, et descend parfois jusqu'à près de 30 p. 100.

Les laitiers renferment du phosphore.

Grâce à la prédominance des bases, il est probable, comme l'admet M. Berthier contrairement à Karsten (2), qu'une partie du phosphore passe avec le soufre dans les laitiers, et cela sans doute sous forme de phosphure de manganèse ou de calcium (3). A la vérité il est difficile de constater directement le fait par l'analyse, mais la

(1) Les laitiers sulfureux et manganèsifères de Bessèges sont de la même nuance.

(2) Voie sèche, t. II, p. 283.

(3) D'après Durocher, le phosphore existe souvent dans les laitiers en Suède (An. des mines, 5e série, t. IX, p. 475).

pratique des forges du pays de Galles semble le prouver indirectement. On sait qu'en affinant la fonte, le phosphore s'oxyde et se rend en majeure partie dans les scories sous forme de phosphate. Mais, comme toutes les scories retournent sans cesse au haut fourneau, on voit que le phosphore irait toujours croissant dans le lit de fusion, et par suite dans la fonte, si les laitiers n'en enlevaient sans cesse une notable fraction. Or cette détérioration *progressive* de la fonte et du fer n'ayant pas lieu depuis que l'on refond les scories dans le pays de Galles, il faut bien que le phosphore disparaisse avec les laitiers, ou peut-être aussi en partie avec les gaz.

Influence de la houille crue.

Un grand nombre de hauts fourneaux en Écosse, dans le Staffordshire et le pays de Galles font usage de *houille crue*. Au point de vue de la consommation, il convient de marcher ainsi, lorsqu'on a des houilles à longues flammes, sèches et dures, dont le menu ne peut être converti en coke (Écosse, Staffordshire). Il faut alors combattre le refroidissement dû au dégagement des gaz, par un vent très-chaud et fortement pressé.

Les auteurs des voyages métallurgiques ont fait ressortir, dans ce cas, les avantages de la houille non carbonisée; nous aurons nous-mêmes occasion d'y revenir lors de la description spéciale des usines de Glasgow. Mais on peut se demander s'il est réellement rationnel d'en agir ainsi dans la partie du pays de Galles dont les menus sont assez gras pour donner du coke; il est permis d'en douter, puisque dans ces usines, malgré la fusibilité des minerais houillers, la consommation n'est pas inférieure à celle de nos hauts fourneaux français.

On ne se sert pas de houille crue lorsqu'on veut avoir des produits supérieurs.

Dans tous les cas, à un autre point de vue, l'emploi de la houille crue est condamnée par les Anglais eux-mêmes Dès qu'ils veulent produire de la fonte et du fer de première qualité, soit dans le pays de Galles, soit dans le Staffordshire et le Yorkshire, ils soumettent la houille à la carbonisation pour en chasser au moins la moitié du soufre, et cependant leurs minerais renferment presque constamment, comme correctif du soufre, une proportion plus ou moins forte de manganèse qui nous manque en France.

Comme avantage accessoire de la houille crue, on peut citer la proportion plus élevée des gaz du gueulard, avantage dont, à la vérité, les Anglais ne profitent guère, puisqu'ils perdent précisément les produits gazeux de la plupart des hauts fourneaux d'Écosse et du Staffordshire.

Influence du vent chaud.

Le vent *chaud*, comme l'état du combustible, influe sur la qualité des produits des hauts fourneaux. On sait que plus la température est élevée, et plus le silicium abonde dans la fonte. Les fondeurs anglais conservent donc l'air *froid* pour les fontes et les fers de qualité supérieure, malgré une différence de consommation de 20 à 25 p. 100.

On conserve l'air froid pour les produits supérieurs.

On a soutenu que l'on pouvait efficacement combattre l'influence nuisible de l'air chaud en forçant la proportion de castine et en élargissant la zone de fusion. Cela est vrai jusqu'à un certain point, mais l'expérience des fondeurs anglais prouve, à n'en pas douter, que le remède n'est pas suffisant, au moins lorsqu'on traite des minerais faciles à réduire. En augmentant la dose de castine, on peut bien combattre la réduction de la silice, mais on facilite par cela même celle de l'alumine, de la magnésie et des autres bases.

L'aluminium est plus abondant dans les fontes qu'on

ne le croit généralement, et la faible ténacité des fontes d'Écosse pourrait bien en partie provenir de la présence de cet élément. Rarement on l'a dosé, et par les procédés d'analyse ordinaire l'alumine reste nécessairement mêlée au fer et à la silice; aussi Karsten déclare avoir trouvé peu d'aluminium dans les fontes. Mais Truran, d'après Thompson, cite diverses fontes anglaises contenant 0,50 à 1 p. 100 d'aluminium, et l'on sait que même certaines fontes de Suède renferment jusqu'à 1,5 p. 100 de calcium et de magnésium et 0,75 d'aluminium (1). On a par suite à se préoccuper de la réduction des bases terreuses aussi bien que de celle de la silice, et à ce point de vue il est bien évident que les fondeurs anglais ont raison de préférer l'air froid à l'air chaud, lorsqu'ils veulent obtenir des fontes tenaces plutôt que douces, ou des fers forts supérieurs.

La température de l'air chaud est celle du plomb fondant, dans les forges du pays de Galles, du Staffordshire et du Cleveland, de 350 à 400° en Écosse.

L'air chaud, la houille crue, l'emploi du gaz et quelques modifications dans le tracé des hauts fourneaux, tels sont, en résumé, les moyens mis en œuvre pour réduire la consommation des hauts fourneaux anglais. Il nous reste à dire quelques mots des scories de forges, traitées comme minerais de fer dans le pays de Galles, et de la substitution de la chaux vive au calcaire comme fondant.

Réduction des scories de forges.

Les scories, plus encore que l'air chaud et la houille crue, sont bannies des hauts fourneaux anglais lorsqu'on veut obtenir des produits supérieurs. Non-seulement elles rendent les fontes phosphoreuses et siliceuses, mais elles empêchent en outre l'allure chaude,

(1) Durocher, *Ann. des mines*, t. IX de la 6e série, p. 475.

la seule qui puisse donner de bons fers, dans le cas de minerais médiocres. La réduction des silicates est toujours incomplète, et à mesure que la charge s'accroît en scories de forges, on voit les laitiers devenir de plus en plus noirs et se charger de 10, 15 et jusqu'à 20 p. 100 d'oxyde de fer.

M. Truran assure que dans le pays de Galles les laitiers renferment en moyenne, lorsqu'on marche en fonte blanche, 11 p. 100 de fer métallique, correspondant à 20 p. 100 de la teneur des minerais (1); c'est, comme il est facile de le montrer, plus de la moitié du fer provenant des scories.

En effet, d'après Truran, la charge moyenne des hauts fourneaux de Dowlais est la suivante, par tonne de fonte (2) :

	tonnes.		tonnes.
Minerai, houiller grillé.	1,40 à 40 p. 100 tenant		0,56 de fer.
Hématite rouge. .	0,50	50 p. 100	0,25
Scories de forge.	0,50	60 p. 100	0,30
Charge totale. .	2,40	» »	1,11
Or une tonne de fonte renferme. . . .			0,95 de fer.
Reste donc dans les laitiers			0,16 de fer métallique.

c'est-à-dire au delà de 50 p. 100 des 0t,30 de fer fourni par les scories. Et pourtant ces 0t,16 de fer représentent à peine 9 p. 100 du poids total des laitiers qui, dans ce cas, est de 1t,80 par chaque tonne de fonte produite.

Il est d'ailleurs facile de voir que le fer ainsi perdu s'accroît à peu près proportionnellement à la dose de scories que renferme le lit de fusion. Nous avons relevé

(1) Truran, p. 52.

(2) Aujourd'hui, la charge moyenne est plutôt :

Minerai, houiller grillé. . . .	1t,10	2t,40
Hématite rouge.	0t,80	
Scories.	0t,50	

à Dowlais la composition des lits de fusion des seize hauts fourneaux qui étaient en activité lors de notre visite. Or, en répétant le calcul que nous venons de faire sur la charge moyenne donnée par Truran, on arrive aux résultats suivants :

COMPOSITION de la charge par tonne de fonte.		Teneur des minerais.	Fer contenu dans la charge.	Fer passé dans les laitiers.	OBSERVATIONS.
	ton.	p. 100	ton.	ton.	
Minerai houiller grillé.	1,00	40	0,40		Fonte truitée. Le laitier doit renfermer à peu près 4 p. 100 de fer métallique.
Hématite rouge.	0,95	50	0,47		
Scories.	0,25	60	0,15		
	2,20		1,02	0 07	
Minerai houiller.	1,05	40	0,42		Fonte blanche lamelleuse.
Hématite rouge.	0,90	50	0,45		
Scories.	0,30	60	0,18		
	2,25		1,05	0,10	
Minerai houiller.	1,00	40	0,40		Fonte blanche lamelleuse.
Hématite rouge.	0,85	50	0,42		
Scories.	0,40	60	0,24		
	2,25		1,06	0,11	
Minerai houiller.	0,70	40	0,28		Fonte blanche plus ou moins fibreuse.
Hématite rouge.	1,05	50	0,52		
Scories.	0,45	60	0,27		
	2,20		1,07	0,12	
Minerai houiller.	1,25	40	0,50		Fonte blanche grenue. Le laitier doit renfermer 11 p. 100 de fer métallique.
Hématite rouge.	0,35	50	0,17		
Scories.	0,80	60	0,48		
	2,40		1,15	0,20	
Minerai houiller.	1,75	40	0,70		Fonte blanche, grenue, caverneuse. Le laitier doit renfermer 21 p. 100 de fer métallique.
Scories.	1,05	60	0,63		
	2,80		1,33	0,38	

Sans doute les teneurs des minerais ne sont pas rigoureusement invariables ; par suite, les résultats que renferme ce tableau ne sont qu'approximatifs ; mais, tels quels, ils montrent néanmoins bien clairement que l'on

perd en effet, au haut fourneau, à peu près la moitié du fer provenant des scories. Ajoutons comme terme de comparaison que, dans la même usine, la fonte grise de moulage s'obtient avec le mélange suivant :

	tonnes.		tonnes.	
Minerai houiller grillé.	2,350	à 40 °/₀ tient	0,940	de fer.
Hématite rouge.	0,075	à 50 °/₀	0,037	
Charge totale.	2,425	»	» tenant 0,977	

Ce qui laisse seulement. . . . . 0,027 de fer dans les laitiers ou environ 1 1/2 p. 100 de leur poids.

En Angleterre, il vaut mieux marcher en fonte de forge grise que blanche, lorsque la charge renferme peu de scories.

Or si l'on ne retire des scories de forge que la moitié du fer contenu, et si l'on songe en outre qu'elles altèrent la qualité de la fonte et en abaissent le prix de vente, on peut vraiment se demander s'il est rationnel de les ramener sans cesse au haut fourneau. De tous les minerais, celui des houillères est d'ailleurs, à cause de sa réductibilité et de sa fusibilité, l'un des moins propres au traitement des scories. Un minerai argilo-réfractaire supporterait plus aisément une addition de scories.

Dans tous les cas, si en France, vu le haut prix des combustibles et le prix peu élevé des minerais, il peut y avoir avantage de marcher en fonte de forge blanche (même sans addition de scories de forge), et de sacrifier ainsi une partie du fer des minerais eux-mêmes, il n'en est plus de même en Angleterre, où les minerais sont toujours chers. Ainsi donc, indépendamment de toute autre considération, le prix élevé des minerais doit faire adopter une allure chaude plutôt que froide, dès que la charge ne renferme pas de scories.

Les hématites rouges de Cumberland pourraient, vu leur pureté, donner des fontes blanches, grenues ou fibreuses, de qualité supérieure ; mais la perte sur le fer serait plus grande que le bénéfice résultant de la moindre consommation en houille.

On voit par là qu'à tous les points de vue les fondeurs anglais ont intérêt à produire de la fonte *grise*, et que même dans le pays de Galles l'allure crue offre des inconvénients tels qu'il faudra peut-être y renoncer un jour pour revenir, sinon à la fonte grise proprement dite, au moins à la fonte blanche lamelleuse.

Emploi de la chaux vive.

Dans quelques usines du pays de Galles et du Staffordshire (Sir-Howy, Russel-Works, etc.), on a substitué, comme castine, la chaux vive au calcaire brut. On sait que des essais de même genre ont été entrepris en divers lieux, et spécialement à Königshütte en Silésie et à Ougrée près de Liége (1). La cuisson du calcaire dans le haut fourneau même retarde la réduction des minerais dans la partie haute de la cuve, soit par le refroidissement même dû au dégagement de tout élément gazeux, soit par l'abondance relative de l'acide carbonique qui affaiblit l'énergie réductrice de l'oxyde de carbone. Il semblerait donc que l'avantage résultant de l'emploi de la chaux devrait se traduire tout à la fois et par une certaine réduction sur le poids du combustible consommé, et par une marche plus rapide des fourneaux.

D'après la *Revue de Liége*, c est effet ce qui aurait été constaté à Ougrée, où l'économie sur le coke est de 9,6 p. 100 et l'accroissement de production de 25 p. 100. Mais à Konigshütte les avantages économiques furent insignifiants : 60 centimes à peine par tonne de fonte, et même tout à fait nuls, sinon négatifs, en attribuant une valeur quelconque aux escarbilles de coke (provenant des fours de puddlage) qui servaient à la cuisson de la chaux.

En Angleterre (à Sir-Howy comme à Russel-Works),

(1) *Revue de Liége*, t. III, p. 332.

on nous a affirmé que la chaux offrait un certain avantage sur la castine. Néanmoins il nous est impossible d'en fixer l'importance, et nous ne pensons pas qu'il puisse être grand, sinon la compagnie d'Ebbwvale, à laquelle appartient Sir-Howy, se serait certainement empressée d'introduire le même changement dans ses autres usines de Victoria, Ebbwvale, Abersychan et Pontypool. Il résulte même d'une note des *Archives de Karsten* (tome XXV), qu'en 1851 l'un des hauts fourneaux d'Ebbwvale marchait en chaux vive, ce qui n'est plus le cas aujourd'hui.

En consultant le tableau général que nous publions ci-après et celui de la page 137, on voit que la production de Sir-Howy est la même que celle de Victoria (1 tonne par 5 mètres cubes de capacité intérieure), et que la différence de consommation par tonne de fonte est à peine de $0^t,20$ de houille sur $2^t,20$.

§ 4. *Production et consommation des hauts fourneaux anglais.*

Nous terminons le chapitre sur le roulement des hauts fourneaux par le tableau général de la production et de la consommation dans les différents districts. C'est le complément de celui de la page 137. En les rapprochant, on peut vérifier les conséquences que nous en avons tirées. Quant à présent, il nous paraît inutile de nous y arrêter davantage, mais nous y reviendrons en passant en revue les résultats spéciaux des divers districts.

NOMS DES USINES.	VOLUME de la cuve en mèt. cub. a	Production par 24 heures. b	Nombre des tuyères ou buses.	DIAMÈTRE des buses en centimèt.	PRESSION du vent.	TEMPÉRATURE du vent.
	mèt. cub.	tonnes		centimèt.	mèt.	degrés.
(Pl. VI). Hauts fourneaux ordinaires d'Écosse (fig. 1).	150 à 160	21	4 à 6	7,5 à 8,5	0,12 à 0,20	400
Hauts fourneaux anciens d'Écosse (1833). . .	85 à 90	9	2 ou 3	7,5	0,12 à 0,13	322
Haut fourneau d'Écosse du type élevé (fig. 2).	200	26	8 ou 9	7,5	0,15	370
Haut fourneau de Bilston, n° 3 (Staffordshire) (fig. 3).	175	24	5 à 7	?	0,13 à 0,16	300 à 330
Hauts fourneaux modernes du Staffordshire (fig. 4).	120 à 130	16 à 20	5 à 7	7,5	0,13 à 0,16	300 à 330
Hauts fourneaux anciens du Staffordshire (1840 à 1850).	70 à 75	10	3	5 à 7	0,10 à 0,12	300 à 12
Hauts fourneaux neufs d'Yniscedwin et d'Ystalifera à l'anthracite.	80 à 85	10 à 12	6 ou 7	3,2 à 4	0,17 à 0,20	350 à 400
Haut fourneau de Blaenavon (pays de Galles) (fig. 6).	110	14 à 15	3	?	0,15	12
Haut fourneau de Tees-Side à Middlesboro (fig. 7).	195 à 200	30	3	10	0,13 à 0,14	300 à 330 fusion de plus.
Hauts fourneaux ordinaires de Middlesboro, bâtis vers 1851 à 1855 (fig. 9).	135 à 140	20 à 25	3 à 5	10 à 8	0,12 à 0,14	300 à 330
Grand haut fourneau de Dowlais (fig. 10). . .	230 à 235	45 à 50	7	8,7	0,15 à 0,16	315 à 330
Hauts fourneaux d'Ebbwvale (fig. 11). . . .	160 à 170	25 à 30	6	7,5 à 8,1	0,13 à 0,16	300 à 330
Hauts fourneaux ordinaires de Dowlais. . .	140 à 150	25	5 à 7	7,5	0,13 à 0,16	300 à 330
Hauts fourneaux de Victoria (fig. 14). . . .	115 à 120	24	5 ou 6	7,5 à 8,1	0,13 à 0,16	300 à 330
Hauts fourneaux de Trédegare.	120 à 125	20 à 22	Les conditions de soufflage peu différentes de celles de Victoria.			
Hauts fourneaux de Sir-Howy.	105	20 à 21	3 de 8,1 1 de 6,2		0,17	330.

(1) Les consommations supérieures en houille et castine s'appliquent à la fonte de moulage.
(2) Les chiffres inférieurs concernent l'air froid.
(3) Les hauts fourneaux d'Ystalifera ont jusqu'à dix tuyères, mais elles fonctionnent rarement toutes.
(4) On marche au coke et à l'air froid. On consomme 1k,95 de coke.
(5) On consomme 1k,40 de coke pour fonte de forge et 1k,70 pour fonte de moulage.
(6) On consomme 1k,60 de coke pour le mélange de fonte de moulage et de fonte de forge.

VOLUME du vent par tonne de fonte calculé d'après le carbone consommé $d = 4.460^{mc} \times c$.	VOLUME du vent par minute d'après le carbone consommé. $e = \frac{b \times d}{24 \times 60}$.	VOLUME du vent par minute et par mètre cube de la cuve. $\frac{e}{a}$.	CONSOMMATION PAR TONNE DE FONTE. Minerai grillé.	Castine.	HOUILLE au haut fourneau	HOUILLE pour l'air chaud, la soufflerie et le grillage.	Carbone fixe sans cendres brûlé au h't fourn. c	Minerai et castine fondus par tonne de houille consommée au haut fourn.	NATURE de la fonte.	OBSERVATIONS.
mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes		
5.084	74	0,50	1,750	0,400	2,10	0,50	1,14	1	Noire.	
4.807 à 5.798	30 à 36	0,40	2,120	0,330	2 à 2,4	0,95	1,08 à 1,30	1,225 à 1	*id.*	
5.575	100	0,50	1,940	0,400	2,30	0,50	1,25	1	*id.*	
6.690	111	0,63	2,150	0,500	3	0,35	1,50	0,883	Grise de forge.	
6.244 à 6.690	70 à 93	0,58 à 0,71	2,100 à 2,250	0,450 à 0,600	2,75 à 3	0,75 à 1	1,40 à 1,50	0,927 à 0,950	Grise de forge et de moulage.	(1)
6.690 à 8.028	46 à 55	0,65 à 0,73	2,150	0,450 à 0,500	3 à 3,50	1 à 0,70	1,50 à 1,80	0,85 à 0,75	*id.*	(2)
6.690	46 à 56	0,57 à 0,66	2,380	0,800	1,75	1	1,50	1,82	*id.*	(3)
7.805	78	0,71	2,700	0,970	3,05	0,70	1,75	1,20	*id.*	(4)
5.620	117	0,56 à 0,60	2,500	0,650 à 0,700	2,60	0,75	1,26	1,23	Grise de forge.	(5)
6.244	85 à 100	0,63 à 0,71	2,400	0,700	3	0,75	1,40	1,03	Grise de moulage et de forge.	(6)
5.352	180	0,77	2,400	0,850	2	0,35	1,20	1,62	Blanche, lamelleuse ou grenue.	(7)
5.798	100 à 120	0,63 à 0,70	2,630	1,00	2,40	0,25	1,30	1,51	Blanche, lamelleuse.	(8)
4.964	86	0,57 à 0,61	2,400	0,85	1,90	0,35	1,113	1,70	Blanche grenue.	(9)
5.129	85	0,73	2,630	0,50	2,20	0,25	1,15	1,42	*id.*	(10)
5.709	81	0,66	2,750	0,62	2,35	0,25	1,28	1,43	*id.*	(11)
4.683	67	0,64	2,650	chaux. 0,50	2	0,25	1,05	1,57	Blanche.	(12)

(7) On marche presque exclusivement à la houille crue.
(8) On marche avec 1/3 de houille et 2/3 de coke.
(9) On marche surtout à la houille crue. Quelques fourneaux ne consomment que 1k,50 à 1k,75 de houille.
(10) On charge beaucoup de scories et de minerais siliceux. Par ce motif, peu de castine.
(11) On marche avec un mélange de houille et de coke.
(12) On charge moitié coke, moitié houille.

CHAPITRE V.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE LA FABRICATION DE LA FONTE DANS LE ROYAUME-UNI.

Production de la fonte.

On a vu déjà par le chapitre V de la première partie, que de 1833 à 1858, dans l'espace de vingt-cinq ans, la production de la fonte s'est accrue en Angleterre dans le rapport de 1 à 5.

Elle était de. . . . . 700.000 tonnes en 1833.
— de. . . . . 3.456.064 en 1858.

Développement progressif des hauts fourneaux.

D'après les auteurs des *Voyages métallurgiques*, t. 1, p. 221, etc., il y avait dans le Royaume-Uni :

	hauts fourneaux.		tonnes.
En 1740,	57	au charbon de bois, produisant	17.000
En 1788,	24	au bois	» 13.000
	53	au combust. minéral,	» 49.000
En 1796,	121	au combust. minéral,	» 125.000

et déjà presque plus aucun fourneau au charbon de bois.

En 1806, 227 hauts fourneaux au coke, produisant 250.000 tonnes, répartis ainsi :

Dans le pays de Galles.	52
— Staffordshire	42
— Shropshire	42
— Derbyshire	17
— Yorkshire.	28
— En Écosse.	28
Dans divers comtés.	18
Total.	227

En 1820, la production atteint. . . . . 400.000 tonnes.
En 1826, le nombre des fourneaux est de 325, dont 262 en feu, et leur production de 581.000 »

Les 325 fourneaux étaient alors répartis ainsi :

Staffordshire.	108
Pays de Galles	109
Écosse.	25
Yorkshire	34
Derbyshire.	19
Divers autres comtés.	30
Total.	325

On voit par ces chiffres qu'à l'origine du siècle, la fabrication de la fonte était encore répartie également entre toutes les parties du Royaume-Uni, tandis que vingt ans après, en 1826, elle commença à se concentrer d'une façon très-prononcée dans le pays de Galles et le Staffordshire. Depuis lors, grâce aux ressources naturelles et à la situation privilégiée de certains districts, la concentration des usines et, avec elle, la spécialisation des produits, a fait de rapides progrès.

Situation des hauts fourneaux en 1857 et 1858.

Elle ressort clairement du tableau suivant, qui résume l'état de la fabrication de la fonte en 1857 et 1858, d'après les mémoires du *Geological Survey* par R. Hunt.

NOMS DES DISTRICTS.	COMTÉS.	NOMBRE TOTAL des hauts fourneaux. 1857.	1858	NOMBRE des hauts fourn. en feu. 1857.	1858.	PRODUCTION en tonnes de 1.015 kil. 1857.	1858.	OBSERVATIONS.
						tonnes	tonnes	
North-Wales	Denbigshire	14	13	6	6	37.049	28.150	
South-Wales	Glamorgan	207	199	164	148	970.727	886.478	
	Monmouth							
Forest de Dean	Gloucester	10	10	5	4	23.882	23.580	
District du Centre (partie sud)	S. Staffordshire	180	186	158	147	657.295	597.809	
	Shropshire	31	32	26	25	117.141	101.016	
Distr. du Centre (partie ouest)	N. Stafford	27	27	23	22	134.057	135.308	Au charbon de bois.
	Lancashire	2	4	2	3	1.433	2.840	
	Cumberland	9	9	6	5	30.515	26.264	
District du Centre (partie est)	Derbyshire	34	34	25	28	112.160	131.577	Plus de la moitié à l'air froid.
	Yorkshire (West Riding)	36	33	25	24	117.000	85.936	
Cleveland	Yorkshire (North Riding)	32	30	23	20	179338	189.320	Forment ensemble le district du Cleveland et de Newcastle.
District de Newcastle	Durham	51	53	35	44	284.500	265.184	
	Northumberland	18	18	6	6	68.250	45.312	
Écosse ou Glasgow	Ayrshire	163	177	124	132	918.000	925.500	
	Lanarkshire, etc.			1	1	300	1.020	
Localités diverses	Somersetshire	1	1	0	1	»	1.020	
	Willshire	2	4	0	1	11.500	9.750	
	Northampton	3	3	3	3	1.000	»	
	Irlande	1	1	1	0			
		821	834	633	619	3.650.447	3.456.064	

Les mêmes états statistiques de R. Hunt donnent pour la valeur des 3.659.447 tonnes des fontes produites en 1857 : 12.838.560 liv. ; et pour celle des 3.456.064 tonnes de 1858 : 10.713.798, soit par tonne :

	liv.	sh.	d.
En 1857, un prix moyen de.	3	10	2
En 1858, —	3	2	»

On voit par ces chiffres qu'en 1858 l'industrie des fontes a été dans une situation très-peu prospère en Angleterre : comparativement à l'année 1857, déficit dans la production de plus de 200.000 tonnes, et baisse de prix de 8 sh. 2 d. (soit 10 francs par 1.000 kilog.) On voit d'ailleurs que, sur 834 hauts fourneaux, 215 (plus d'un quart) étaient alors en chômage. Ajoutons que depuis 1858 la situation, loin de s'améliorer, a plutôt empiré.

Production des fourneaux à diverses époques.

L'accroissement de production qui se manifeste en Angleterre depuis l'origine de ce siècle, résulte bien plus, comme on doit s'y attendre, de l'agrandissement des fourneaux que de leur multiplication. Depuis 1806, en cinquante années, le nombre des fourneaux n'a pas quadruplé, tandis que la production s'est développée dans le rapport de 1 à 14 ; et depuis 1833, en vingt-cinq années, le nombre des fourneaux a simplement doublé, lorsque leur production s'est accrue de 1 à 5.

Voici, au reste, d'après M. S. H. Blackwell, l'accroissement progressif de la production des hauts fourneaux :

Peu après 1740, époque des premiers essais de la fusion au coke, la moyenne de production par vingt-quatre heures est à peine de 2 tonnes.

Des soufflets en bois, mus par l'eau, alimentaient alors ces anciens fours.

Les premières machines soufflantes à cylindres furent établies par Smeaton, en 1760, à l'usine de Carron, et

peu après la machine à vapeur supplanta graduellement les moteurs hydrauliques. En 1788, la production moyenne était de 3 tonnes. En 1796, elle monte à 5 tonnes, et déjà quelques fourneaux atteignent 7 tonnes.

Cette dernière augmentation correspond à l'invention de la machine soufflante à double effet par Boulton et Watt.

En 1825, la production moyenne est de 7 tonnes; en 1851, de 14 à 15 tonnes, et en 1858, d'après le tableau précédent, de 18 tonnes.

Développement progressif de la fabrication de la fonte au coke en France.

Plaçons maintenant en regard de ces chiffres le développement progressif de la fabrication de la fonte au coke en France.

En 1825.	5.300 tonnes.
1830.	28.255
1835.	35.190
1840.	62.460
1845.	137.807
1847.	225.319
1850.	158.797
1852.	217.392
1858.	545.000
1859.	519.000

Notre production en fonte au coke est par suite peu différente de celle de la fabrication anglaise en 1826, et le sixième environ de la production actuelle du Royaume Uni.

Exportation de la fonte anglaise.

L'exportation de la fonte s'élève en Angleterre, à peu près comme celle de la houille, au dixième de la production.

En 1856, à	357.326	sur une production de	3.586.377
1857,	422.086	. . . . .	3.659.447
1858,	360.425	. . . . .	3.456.064

L'Écosse et le Cleveland sont d'ailleurs presque les seuls districts qui exportent de la fonte. L'Écosse a fourni :

En 1856.	258.738 tonnes.
1857	294.252
1858	274.471

Le Cleveland avec Newcastle :

Environ.	84.000 tonnes	en 1857
Et.	78.000	en 1858

Le pays de Galles n'a exporté que

	17.642 tonnes	en 1857
Et à peine.	2.000	en 1858

La majeure partie de la fonte exportée se rend aux États-Unis, en France et dans le nord de l'Europe. Mais tandis que le chiffre augmente d'année en année pour les divers pays situés en Europe, l'exportation décroît pour les États-Unis depuis 1854.

Ainsi d'Écosse on a expédié aux États-Unis :

En 1854.	115.500 tonnes.
En 1856.	56.000
En 1857.	42.200

Importation de la fonte anglaise en France.

La France ne reçoit presque que des fontes d'Écosse. On en a importé, d'après les documents anglais :

En 1856.	60.530 tonnes.
1857	67.713
1858.	52.381

Prix de revient de la fonte.

Le prix de revient de la fonte varie d'un district à un autre, et nous avons vu déjà que, loin de s'abaisser depuis trente ans, il tend plutôt à s'élever à cause du renchérissement graduel des matières premières.

Réservant les détails pour la description spéciale de chacun des districts, donnons seulement, quant à présent, les limites extrêmes de ces divers prix à l'époque de notre voyage (juin 1860).

Dans le pays de Galles, la fonte pour rails coûtait alors, selon les usines et la qualité du produit, par tonne de 1.000 kilog. : 55 à 65 francs.

La fonte pour fers ordinaires	69 à 75 francs.
La fonte supérieure, pour moulage et fers spéciaux, obtenue à l'air froid .	90 à 100

Dans le Staffordshire :

	fr.		fr.
Fontes de forge de qualité inférieure.	63	à	77
Fontes de forge grises ordinaires.	77	à	92
Fontes de moulage ou de forge supérieures.	92	à	103.50
Fontes grises de forge à l'air froid	97.75	à	103.50
Fontes de moulage à l'air froid.	103.50	à	115

Dans le Cleveland :

	fr.		fr.
La fonte grise ordinaire de forge et de moulage.	56	à	60

Dans le district de Glasgow en Écosse :

	fr.		fr.
La fonte noire de moulage	58	à	65

Prix de vente de la fonte.

Nous ne dirons rien ici des prix de vente; on sait à combien de fluctuations ils sont exposés d'après le rapport si changeant de l'offre à la demande. On trouvera plus loin ces variations sous forme de tableaux synoptiques. Ajoutons seulement que depuis 1858 le prix de vente a été partout très-peu supérieur au prix de revient; que plusieurs forges subissent des pertes, et que les établissements les plus favorisés gagnent à peine 2 à 3 francs par tonne. Rappelons aussi que les usines du pays de Galles vendent rarement la fonte de forge; que sa valeur, plus ou moins nominale, dépend du cours des rails, et que le prix des fontes de moulage est réglé par le marché spécial de Glasgow.

Après avoir fait connaître, d'une façon générale, tout ce qui se rapporte à la fabrication de la fonte en Angleterre, passons encore, sous ce rapport, en revue les quatre districts de forges du Royaume-Uni :

L'Écosse, le pays de Galles, le district Central et celui du Nord-Est comprenant le Cleveland et Newcastle.

REVUE DES DISTRICTS DE FORGES DU ROYAUME-UNI

AU POINT DE VUE DE LA FONTE.

I. DISTRICT DE L'ÉCOSSE MÉRIDIONALE.

FABRICATION DE LA FONTE DE MOULAGE.

CHAPITRE VI.

GÉNÉRALITÉS.

Ensemble de la formation houillère de l'Ecosse méridionale.

La formation houillère de l'Écosse méridionale s'étend de l'ouest à l'est, depuis la côte occidentale, à l'ouest-sud-ouest de *Glasgow*, jusqu'à la côte orientale, à l'est et au nord-est d'*Édimbourg*.

Elle se subdivise en un certain nombre de bassins, sinon absolument indépendants, au moins très-distincts quant à l'importance et à l'allure des couches de houille, de minerai et même des couches d'argiles réfractaires et de calcaires. Ces bassins sont limités et séparés les uns des autres par des lambeaux de terrains cristallins ou de transition, et par des masses de roches trappéennes : ces dernières roches, sans doute en relation avec les lignes suivant lesquelles se groupent les principales dislocations du terrain houiller, affleurent même sur un plus grand nombre de points que n'en indique la carte générale jointe à ce mémoire (pl. V, du tome XIX).

Divers bassins dont elle se compose. Leur importance relative.

Les noms des divers bassins de l'Écosse sont tirés de ceux des comtés mêmes : on distingue donc les bassins *du Lanarkshire*, *de l'Ayrshire*, *du Renfrewshire* (*Paisley*), *du Stirlingshire*, etc.

Au point de vue métallurgique, *le Lanarkshire* est

de beaucoup le plus important ; sur 400 à 420 mines de houille, ouvertes en Écosse, le Lanarkshire en renferme 160 à 170 ; l'Ayrshire 90 à 100 ; le Stirlingshire 35 à 40 ; *le Fifeshire* 40, le surplus étant réparti entre les divers autres bassins.

La production totale de la houille en Écosse s'élevant en 1858, d'après M. *Robert Hunt*, à 8.926.249 tonnes, l'extraction du Lanarkshire y entrait pour près de la moitié, c'est-à-dire pour *3 à 4 millions de tonnes.*

Enfin, tandis que *l'Ayrshire*, le bassin le plus important après celui *du Lanarkshire*, expédie une bonne partie de son extraction à l'étranger ou par cabotage sur les côtes d'Angleterre, presque toute la houille du Lanarkshire se consomme dans la localité, soit dans les hauts fourneaux, forges et manufactures diverses, soit dans les foyers domestiques de Glasgow et de ses environs. M. l'ingénieur William Moore, dans une notice qu'il a lue sur le Lanarkshire, à la société philosophique de Glascow (séance du 1er février 1860), estime la production actuelle de ce bassin à 3 millions et 1/4 de tonnes, et admet en même temps que les usines à fonte et fer consomment environ 2 millions de tonnes ; l'autre tiers de la production se distribuant entre les usages domestiques et l'alimentation des manufactures diverses du canton de Glasgow. Les gisements de boghead de la partie orientale du Lanarkshire fournissent à peu près seuls à l'exportation proprement dite.

Au surplus, c'est dans le Lanarkshire que se trouvent les établissements de hauts fourneaux les plus considérables ; sur les 174 hauts fourneaux que l'Écosse comptait en décembre 1859, 106 sont situés dans le comté qui nous occupe, contre 41 dans l'Ayrshire ; les

27 autres sont disséminés dans *le Stirlingshire*, *le Fifeshire*, etc.

Le Lanarkshire est le bassin le plus important au point de vue métallurgique.

Si nous ajoutons encore que sauf les hauts fourneaux de *Glengarnock*, aucun de ceux situés hors du Lanarkshire ne fournit des qualités de fontes comparables aux marques des principales fonderies de ce district, on comprendra pourquoi nous nous en sommes spécialement et presque exclusivement occupés.

Allure générale et composition du bassin du Lanarkshire.

A l'époque où MM. Dufrénoy, Élie de Beaumont, Coste et Perdonnet, visitaient l'Écosse pour la dernière fois, avant la publication de la deuxième édition du *Voyage métallurgique en Angleterre* (Paris, 1837), on ne connaissait guère du Lanarkshire que les environs immédiats de Glasgow. On avait seulement entamé le bassin houiller à l'est de cette ville, autour des seuls usines existant alors : *la Clyde*, *Calder*, *Monkland* et *Gartsherrie*. Les travaux ouverts à cette date avaient déjà fait reconnaître deux étages principaux dans le terrain houiller : l'un supérieur, supposé renfermer sept couches de houille, l'autre inférieur où les auteurs du *Voyage métallurgique* signalent surtout la concentration du minerai de fer ; mais ils ne parlent pas du minerai spécial à l'Écosse : du *blackband*, dont on exploitait encore assez peu la couche, cependant connue déjà, dans l'étage supérieur, sous le nom de *Mushet-blackband*.

Depuis lors, les travaux d'exploitation se sont considérablement étendus le long de la vallée de la Clyde, et plus particulièrement encore sur la rive droite de ce fleuve, entre *Glasgow* et *Netherburn*. — C'est dans cette région centrale que paraît surtout se développer l'étage supérieur de la formation houillère du Lanarkshire, avec ses nombreuses couches de charbon, et son assise de minerai de fer, *le célèbre Mushet-blackband*.

C'est aux richesses de cet étage supérieur que les fonderies si connues de *Gartsherrie*, *Calder*, *Summerlee*, *Monkland*, *Dundyvan*, etc., toutes établies sur les plateaux qui dominent la vallée de la Clyde au nord, doivent leur prospérité et leur réputation pendant les trente dernières années.

En dehors, au Nord comme à l'Est de cette bande du terrain houiller, où coule la Clyde, l'étage supérieur disparaît progressivement à mesure qu'on avance davantage vers le *Stirlingshire* (*Kilsyth*, *Possil*, *Denny*...) d'une part, et vers le *Linlithgowshire* (*Édinbourg*....) de l'autre.—Dans ces deux derniers comtés, l'étage inférieur se rencontre à peu près seul avec ses calcaires, ses argiles réfractaires et ses minerais de fer, mais avec une bien moindre abondance de houille que le premier.

D'après M. William Moore, l'étage supérieur aurait dans le Lanarkshire une puissance totale de 3 à 400 yards (275 à 365 mètres) ; il renfermerait neuf couches de houille, mesurant ensemble 37 à 38 pieds (11 à 11^{m},50), et six ou sept veines de minerai de fer, à l'état de *blackband*, dont l'épaisseur réunie serait de 5 pieds à 5 pieds 1/2 (1^{m},60).

La plus forte des couches de houille, dite *l'Ellcoal*, a 8 pieds (2^{m},44), et la plus estimée des veines de minerai, le *Mushet-blackband* 16 pouces (0^{m},38).

Le système inférieur mesurerait 1.100 yards (1.000 mètres), et ne renfermerait dans le Lanarkshire, que 3 ou 4 couches de houille très-médiocres, de 8 à 10 pieds de puissance totale, et 4 veines de minerai ayant 3 à 4 pieds d'épaisseur réunie; ce système s'améliore cependant un peu vers le nord dans le Stirlingshire.

Le nombre total des couches de houille serait par suite de 12 à 13, et celui des veines de minerai de 10.

Mais le nombre de bancs réellement exploitables est, en apparence, plus grand qu'en réalité. Importance réelle et nombre des couches de houille exploitables surtout au point de vue métallurgique.

Parmi les couches de houille, les trois désignées sous les noms de *Upper-coal*, *Humph* et *Sourmilk-coal* paraissent non-seulement d'une qualité insuffisante pour les hauts fourneaux, mais encore inexploitables, à cause de leur minceur, sur bon nombre de points du Lanarkshire, et en particulier, aux environs *d'Airdrie* et de *Coatbrige*, centres d'alimentation des fonderies principales d'Écosse.— Les autres couches de l'étage supérieur, c'est-à-dire celles nommées : *Ell-coal*, *Pyotschaw and main-coal*, *Splint-coal*, *Kiltonguevirtue well* et *Drumgray-coal*, fournissent, très-inégalement d'ailleurs, des houilles propres à la fusion des minerais de fer. — La couche dite *Splint-coal*, la plus réputée à cet égard, est à peu près épuisée aujourd'hui. Quant aux autres, elles varient souvent de qualité et de puissance, sur des étendues assez peu considérables. L'étage inférieur, dans le Lanarkshire. n'est pas réputé exploitable quant à la houille. — Si, vers le Nord, à Kilsyth, dans le *Stirlingshire*, ses affleurements présentent des couches de bonne qualité, ce même étage ne donne plus, au contraire, à *Bôness*, et à *Kinneil*, que des houilles tout à fait inférieures, quoiqu'en couches assez puissantes ; il en est de même à *Bathgate*, dans le *Linlithgowshire*. Enfin à *Possil*, le champ d'exploitation ouvert sur ces assises inférieures a reconnu deux *couches de houille*, en même temps que le *Possil blackband;* mais ces deux bancs de charbons sont trop minces pour être l'objet d'une exploitation régulière.

Les irrégularités de puissance et de qualité sont encore plus grandes dans les minerais de fer que dans les couches de houille. — Aussi des 10 ou 12 bancs, que comprend l'ensemble du terrain, on ne peut en Importance et allure des couches de minerai de fe

compter que la moitié, sept au plus, comme réellement exploitables; ce sont les bancs dont les noms suivent:

Mushet; Rhough; Bellside; Calderbrae; Slaty; Possil et *Govan*.

Excepté le second de ces bancs qui est un minerai argileux (*Clayband*), tous les autres sont des *black-bands* ou carbonates de fer bitumineux, noirs ou veinulés de gris et de noirs.

Idée généralement admise en Ecosse des bassins circonscrits et de la discontinuité des couches.

En présence des variations fréquentes de puissance et de qualité des couches de houilles et de minerais, et se rappelant d'ailleurs que les nombreux affleurements de roches trappéennes sont presque toujours le signal de dérangements, *failles*, *serrées*, *etc.*, on comprend que l'idée de la circonscription des bassins ait persisté en Écosse, surtout avec des exploitations sans aucun lien les unes avec les autres. Aussi les exploitants reculent-ils devant toute exploration en profondeur. Sur le plateau de Monkland, en particulier, il a suffi que quelques puits un peu profonds aient manqué les couches de houille ou de minerai de fer inférieurs, pour qu'on hésite aujourd'hui à foncer les autres puits qui ont servi jusqu'ici à exploiter les couches de *Splint-coal*, *Mushet-blackband*, etc. Peu confiants dans la continuité des couches, les exploitants préfèrent se transporter à *Govan*, à *Possil*, à *Denny*, à *Kilsyth*, à *Bathgate*, c'est-à-dire s'éloigner du centre de leurs opérations métallurgiques, pour rencontrer sûrement et à de faibles profondeurs les minerais de fer du système inférieur.

Position probable des bassins de l'Ayrshire, du Fifeshire, etc., par rapport à celui du Lanarkshire.

On admet d'ailleurs généralement que les bassins de l'*Ayrshire*, du *Fifeshire*, du *Clackmannanshire* correspondant aussi à l'étage inférieur de *Lanarkshire*.

L'étude encore peu avancée des bassins houillers d'Écosse ne permet pas de calculer leurs richesses

minérales; nous nous bornerons à indiquer les estimations de M. W. Moore pour le principal comté, celui du Lanarkshire.

Il évalue l'existence en houille à 428.815.500 tonnes, et celle du minerai à 72.081.400 tonnes.

Durée probable de l'exploitation de ces existences.

En admettant les consommations actuelles de 3 millions et 1/4 de tonnes en charbon et de 1 million de tonnes en minerai de fer, le bassin du Lanarkshire a donc des ressources à peu près assurées pour le roulement continu de 100 hauts fournaux pendant soixante-dix à soixante-douze ans, et pour plus de cent ans de houille, au taux actuel de l'extraction.

Remarquons d'ailleurs que M. Moore n'a évalué que ce qui est réellement découvert et connu aujourd'hui: or, nous avons pu voir nous-mêmes que le comté *du Lanarkshire* renferme plus d'une région où la sonde du propriétaire du sol n'a pas encore pénétré; il nous paraît donc, comme à M. Moore, y avoir plus d'une chance de nouvelles découvertes, chances suffisantes à compenser, en grande partie, les réserves que nous faisions plus haut quant à ces évaluations.

Conditions générales de cette exploitation.

Mais si les existences en houille et minerai (il est inutile d'ajouter en argiles réfractaires et castine) sont encore si développées dans *le Lanarkshire*, il reste à examiner si l'exploitation et l'utilisation de ces richesses se feront dans les mêmes conditions favorables dont jouissaient jusqu'ici les fonderies écossaises.

Conditions des périodes passées.

Les fonderies, comme les exploitations de houille et de minerai de fer se sont d'abord établies à portée des affleurements ou relèvements des couches: c'est ainsi que le groupe le plus important de ces établissements, celui du *Monkland-district* s'est appuyé sur le noyau de roches trappéennes qui, à l'est d'*Airdrie*, sert de base aux couches relevées du terrain houiller: c'est-à-

dire que la profondeur des exploitations était alors relativement faible.

En même temps, les exploitants de mines et hauts fournaux purent, au début de l'industrie écossaise, obtenir, des propriétaires du sol, des locations à taux de redevance très-réduits: 4 à 5 pences par tonne de houille (40 à 50 centimes en nombre rond); 6 pences à 1 sh. 1/4 (0f,60 à 1f,65) par tonne de minerai.

Enfin, grâce à la puissance même du Mushet-blackband (37 à 38 centimètres) et à sa richesse (grillé, il rendrait de 55 à 60 p. 100), on a pu, pendant plus de vingt-cinq ans, alimenter un grand nombre de hauts fournaux *sur un espace relativement très-réduit*, où se trouvaient ainsi à la fois et à prix de revient très-bas, *la houille*, *le minerai*, *la castine* et *l'argile*.

Modifications de ces anciennes conditions.

Ces conditions générales ont subsisté jusque dans ces derniers temps pour le plus grand nombre des usines du Lanarkshire. Il en est qui ont même encore quelques portions des couches si réputées du *Mushetband* et du *Splink-Coal* non loin de leurs hauts fourneaux et pour lesquelles les anciens baux de redevances ne sont pas encore éteints.

Mais c'est là le plus petit nombre des établissements écossais, et ceux-là mêmes devront, dans un avenir assez peu éloigné, partager le sort commun de tous les autres, c'est-à-dire que, ne pouvant pas déplacer les hauts fournaux, il leur faudra aller chercher des minerais d'abord, et, plus tard, des houilles à une certaine distance des usines et à des taux de redevance croissants.

Augmentations des frais de transport.

Nous citerons, à cet égard, l'exemple des fonderies les plus importantes qui, après avoir exploité, aux environs de *Coatbrige* et d'*Airdrie*, où se trouvent concentrés les hauts fournaux, une couche de blackband

puissante, régulière et d'excellente qualité, à des profondeurs de 100, 200 ou 250 mètres, doivent aller aujourd'hui chercher les minerais de *Possil*, *Kilsith*, *Denny* et Bathgate, de qualité un peu plus variable, et en couches moins puissantes, à des distances de 20 milles (30 à 35 kilomètres) des hauts fournaux.

Il est vrai que, comme l'indique la carte (Pl. V, t. XIX), les usines sont reliées aux divers points par de nombreux canaux et chemins de fer (1); mais, ainsi qu'il a été dit dans la première partie de notre travail, les tarifs sont très-élevés en Écosse pour ces petits parcours.

Augmentation des frais de redevances.

Quant aux conditions de redevances, elles ont changé à la fois pour la houille et pour le minerai.

Sur la houille.

Ici, comme dans le pays de Galles, la redevance par tonne de houille tend à se généraliser à 6 ou 9 pences (0f,62 à 0f,92). Dans les environs de *Wishaw* (exploitation pour houille exclusivement), on cite même quelques redevances s'élevant à 1f,25 par tonne de gros et 0f,20 à 0f,25 par tonne de menu.

Sur les minerais.

Pour les minerais, l'accroissement des redevances a été bien plus marqué, conséquence naturelle:

1° Des bénéfices attribués ou supposés aux fondeurs, par suite des premiers baux;

2° De la concurrence qui s'est établie peu à peu entre ceux-ci vis-à-vis des propriétaires du sol.

Au minimum, il faut compter aujourd'hui 2 sh. à 2 sh. 1/2 (2f,50 à 3 fr.) par tonne de 1,015 kil. Quelques usines payent même 3, 4 et 6 sh. pour des

(1) Pour ne pas surcharger cette carte, nous n'avons même pas représenté quelques lignes ferrées secondaires comme celles de *Glasgow* à *Hamilton*, *de Bathgate* à *Dronclair*, etc.

couches plus ou moins équivalentes à l'ancien Mushet-blackband.

Ajoutons d'ailleurs, comme circonstance aggravante de ces traités avec les propriétaires du sol, qu'ils comportent le plus souvent un minimum d'extraction, qui impose à l'exploitant ou au fondeur écossais l'obligation de travailler à peu près constamment quelles que soient d'ailleurs les circonstances commerciales.

Nous apprécierons plus tard, en traitant des conditions économiques de la fabrication de la fonte en Écosse, l'influence définitive de ces changements dans les taux de redevances et dans les conditions de transport. Sans sortir des généralités, examinons maintenant quelles modifications ont pu éprouver les autres éléments de cette industrie.

Constance des conditions d'exploitation de la houille.

Sauf une certaine diminution de qualité et de plus grandes variations d'allure des couches, ou portions d'anciennes couches, sur lesquelles portera désormais l'exploitation de la houille, il ne paraît pas que les conditions de celle-ci soient notablement inférieures à ce qu'elles étaient jusqu'ici.

La faible inclinaison des couches, leur peu de puissance, la prédominance des assises argileuses qui concourt beaucoup à la solidité et à l'imperméabilité des roches du toit, les faibles quantités d'eau affluant, par suite, dans les travaux, voilà autant de conditions favorables sur lesquelles on peut compter, à l'avenir comme par le passé. Jointes à la solidité du charbon, elles permettent, sinon toujours un déhouillement complet *par grandes tailles*, au moins l'enlèvement d'une forte proportion du charbon contenu par la méthode *des piliers abandonnés*, de dimensions assez réduites : on laisse rarement, dans ce dernier cas, plus de 1/4 de la houille

comme soutènement. Par les deux méthodes, le boisage est d'ailleurs presque toujours insignifiant,

L'abatage moyen d'un ouvrier mineur, par 10 heures, varie de 2 à 4 tonnes 1/2, rarement 5 tonnes, dans des couches de 5 à 7 ou 8 pieds, par l'une ou par l'autre des deux méthodes d'exploitation.

Nous donnerons comme dernier renseignement la composition du personnel ouvrier d'une mine produisant environ 100 tonnes par jour, avec une couche de de 5 à 5 pieds et 1/2, dont 2 1/2 à 3 de charbon pur. Cette mine occupait : 50 à 60 mineurs (au charbon ou au rocher) ; 20 à 25 rouleurs de fond ou de surface ; 4 à 5 manœuvres ou ouvriers divers ; un mécanicien et un chauffeur.

Conditions à venir de l'exploitation des minerais de fer.

Le minerai de fer s'exploite et continuera de s'exploiter à peu près généralement d'une manière indépendante de la houille : quelques couches seulement, comme celle du *splint-coal*, sont, sur certains points, accompagnées d'un mince filet de blackband ou de clayband qu'on abat en même temps que la houille.

On applique aux minerais la méthode par grandes tailles, dont les matières stériles, intercalées entre les bancs de minerais, suffisent généralement au remplissage de la plus grande partie des vides. Cette méthode réalise l'enlèvement complet du minerai ; mais malgré les facilités que donnent à l'abatage des tailles et les havages profonds dans les couches argileuses tendres qui limitent ou divisent les bancs de minerai, les frais de ce travail sont cependant très-élevés quand on a à le pratiquer dans des épaisseurs de blackband de 4, 5 ou 6 pouces comme en présentent la plupart des couches, le mushet-band excepté.

Voici d'ailleurs deux exemples extrêmes des conditions d'abatage :

1° Exploitation située dans le centre du Lanarkshire, ouverte sur une partie de mushetbaud de 15 pouces d'épaisseur moyenne, avec un toit schisteux solide et un mur de 1 à 2 pieds de charbon qu'on n'enlève pas, mais qui sert au havage. — En dix heures de travail, un piqueur abat 2 *tonnes* environ de *minerai cru*.

2° Exploitation d'un banc de 4 à 5 pouces, avec schiste argileux au toit et au mur; — havage dans l'argile. — Un mineur n'abat qu'une demie à trois quarts de tonne par journée de dix heures.

Il suffit de ces exemples pour montrer que les conditions d'exploitation des minerais seront, à l'avenir, moins favorables que par le passé, puisque la plupart des bancs autres que le mushet blackband ont des épaisseurs moindres que celui-ci.

Les Possil et Govan Ironstones s'en rapprochent, comme puissance et qualité, mais ils sont certainement moins réguliers, tout en étant plus éloignés de la région centrale du Lanarkshire.

Quant aux *slaty bands*, ils sont incomparablement inférieurs à tous les précédents et comme richesse et comme qualité.

Conditions d'exploitation des argiles et calcaires.

L'exploitation des argiles et castines se fait par travaux souterrains spéciaux, comme à *Glenboig* et *Garnkirk*, ou bien ces matières se retirent des mêmes travaux qui livrent la houille et le minerai.

Les meilleures argiles réfractaires sont celles livrées par les exploitations spéciales de Garnkirk.

Les conditions d'approvisionnement des fonderies écossaises en ces deux sortes de matières premières ne paraissent pas devoir se modifier de longtemps encore; elles sont d'ailleurs aujourd'hui meilleures qu'elles n'étaient il y a vingt-cinq ou trente ans, si l'on en juge

par la comparaison des prix actuels avec ceux rapportés par MM. Dufrénoy, Elie de Beaumont, Coste et Perdonnet : amélioration due sans doute au perfectionnement et à la multiplication des voies de transport et à la concentration de l'extraction dans les mines spéciales de *Garnkirk*.

Variations de la main-d'œuvre en Ecosse.

Un des éléments industriels les plus importants pour des entreprises qui, comme celles d'Ecosse embrassent l'extraction de toutes leurs matières premières, c'est le prix de la main-d'œuvre et plus particulièrement la journée des ouvriers de mines. — Aussi la plupart des statistiques recueillies dans ce district, enregistrent-elles avec soin les prix moyens annuels de la journée des mineurs. Nous donnerons ces prix au chapitre des documents économiques relatifs à la fabrication de la fonte en Écosse pour la période 1848—1859 : — On y verra que les variations de la main-d'œuvre dépendent à la fois des circonstances commerciales et des conditions même de la vie matérielle de l'ouvrier. Toutefois, ce n'est que sous l'influence des plus mauvaises récoltes que le prix des denrées alimentaires réagit d'une manière importante sur le coût de la main-d'œuvre, le maître consentant alors à des sacrifices pour combattre une tendance des ouvriers déjà trop marquée en temps ordinaire, la tendance à l'émigration. — Un accroissement trop rapide de la production provoque les mêmes effets.

Mais, sauf ces exceptions, l'organisation industrielle de l'Écosse se résume par une indépendance et une liberté de transactions parfaites entre maîtres et ouvriers; les premiers réduisant les salaires quand les prix des fontes faiblissent; et les seconds, toujours attentifs aux variations du stock métallique, ne tardant jamais à réclamer leur part de bénéfice, lorsque les circonstances

s'améliorent. — Les grèves, par suite, ne sont pas rares, mais elles n'ont jamais la gravité qu'elles comporteraient ailleurs. Les fondeurs les évitent, ou y mettent un terme si les réclamations des ouvriers leur paraissent fondées; et ces derniers reviennent au travail quand ils voient les maîtres résister à leurs demandes et préférer des arrêts un peu prolongés.

CHAPITRE VII.

PARTIE TECHNIQUE.

§ 1. *Historique.*

De tout temps la fabrication des fontes de seconde fusion a fait la spécialité des hauts fourneaux écossais; aussi ce district du Royaume-Uni a-t-il largement contribué aux progrès de cette branche de la sidérurgie.

1re période, de 1790 à 1828.

De 1790 à 1828, le perfectionnement se porte surtout sur l'accroissement des dimensions et de la production des hauts fourneaux, accroissement devenu possible, grâce à des machines soufflantes plus puissantes.

2e période, de 1828 à 1833.

En 1828 et pendant les années suivantes, les procédés de fabrication reçoivent dans l'application de l'air chaud une amélioration non-seulement très-importante en elle-même, mais encore d'un intérêt capital pour les fonderies écossaises; elle leur a permis de substituer la houille au coke dans les hauts fourneaux.

Déjà en 1833, les résultats de l'emploi de l'air chaud étaient acquis; cela résulte des documents consignés dans le *Voyage métallurgique en Angleterre*, vol. I, 2e édition. Nous montrerons toutefois que l'on attribua

alors à l'air chaud certaines économies incontestablement dues à des modifications de profils adoptées à peu près à la même époque.

3e période, de 1836 à 1845.

De 1836 à 1845, l'emploi de l'air chaud chauffé à des températures de plus en plus élevées se généralise en Écosse; mais aucune autre modification ne paraît avoir été apportée au travail de la fonte dans cette période.

4e période, de 1845 à 1859.

De 1845 à 1850, et plus récemment de 1850 à 1859, sous l'influence évidente des accroissements de débouchés offerts aux fontes d'Écosse, on adopte, dans le district, le principe d'augmentations nouvelles dans les dimensions de hauts fourneaux, principe appliqué déjà dans d'autres contrées du Royaume-Uni. Comme celle-ci, l'Écosse réalise par là des productions croissantes par chaque haut fourneau.

Dans ce résumé des changements apportés en Écosse aux procédés de fabrication de la fonte, on ne voit pas figurer l'emploi des gaz et flammes perdues du gueulard. Les fonderies de ce district n'ont fait à cet égard que quelques tentatives infructueuses; nous indiquerons plus tard les causes qui s'y sont opposées jusqu'ici à l'adoption d'un procédé généralement appliqué, non-seulement sur le continent, mais encore dans bon nombre des hauts fourneaux d'Angleterre et du pays de Galles.

§ 2. *Nature des matières premières. — Préparations qu'on leur fait subir.*

I. *Houille.* — Les houilles d'Écosse, et en particulier celles de Lanarkshire, appartiennent généralement à la classe des charbons secs à longue flamme. Comme houilles propres au roulement des hauts four-

neaux, on recherche les variétés dures et autant que possible pures et peu pyriteuses. La couche dite *splint-coal* (charbon schisteux, esquilleux) doit sa réputation à sa constance, quant à ces trois propriétés. Les houilles des couches *Pyotshaw* et *Kiltongue* présentent encore assez souvent quelques-unes des propriétés des splint-coal, c'est-à-dire une texture schisteuse, une couleur noire, mate, mais à un degré moindre.

Voici d'ailleurs quelques résultats d'analyse relatifs au splint-coal :

	1. Analyse extraite de l'ouvrage de M. Truran.	2. Dosage du soufre dans un échantillon de splint coal (1).
Carbone. .	76,50.	
Hydrogène	5,00.	
Oxygène. .	9,10.	
Soufre. . .	0,80.	1 p. 100
Azote . . .	1,20.	
Cendres. .	6,40.	

On voit d'après cela que ces houilles sont loin d'être dépouillées de soufre et qu'elles ne sont pas toujours de première propreté; nous avons pu nous assurer d'ailleurs que bien souvent les fragments chargés dans les hauts fourneaux étaient veinulés ou plaqués de pyrites très-visibles à l'œil nu.

Les houilles d'Écosse ne rendent à la carbonisation à vase clos que 55 à 60 p. 100 d'un coke léger et mal aggloméré. En grand, lorsque autrefois on carbonisait en tas, à l'air libre, on obtenait rarement plus de 40 à 50 p. 100 d'un coke impur et friable.

Aujourd'hui on ne carbonise plus, la presque totalité des hauts fourneaux d'Écosse roulant en houille crue;

(1) Analyses des matières premières des fonderies d'Écosse par M. Schwarz (*Berg und salinen wesen in dem preussischen staate*); III^e vol., 1^re liv., page 267, *Zeitschrift von Carnall*).

quelques-uns seulement, ceux du Fifeshire, consomment encore, nous a-t-on dit, un mélange de houille et de coke; on y obtient celui-ci des houilles plus ou moins collantes de l'étage inférieur du terrain houiller.

Variétés de blackbands crus.

II. *Minerais de fer.* — Le minerai le plus fréquemment consommé en Écosse est la variété dite *blackband*. C'est un minerai compacte, terne et terreux, à structure quelquefois schisteuse et rubanée, d'une teinte variant du gris foncé au noir.

Quelques variétés ne renferment presque absolument que du carbonate de fer et des matières charbonneuses ou bitumeuses, la silice, l'alumine, la chaux et le manganèse n'entrant dans la composition de ces variétés que pour quelques centièmes. Plusieurs fonderies du district de Monkland ont roulé à peu près exclusivement avec ces sortes exceptionnelles jusque dans ces derniers temps; mais la majorité des blackbands aujourd'hui disponibles sont inférieurs en richesse et, de plus, ce qui est assez fréquent, souillés de pyrites et d'acide phosphorique en assez fortes doses pour compromettre la qualité des produits.

On jugera de ces variations de richesse par les analyses suivantes de différents échantillons de blackband cru :

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Carbonate de fer	85,44	29,03	63,00	63,61	76,98
Peroxyde de fer	0,23	»	»	»	»
Carbonate de manganèse	»	»	3,60	3,50	3,00
Carbonate de chaux	5,94	1,52	2,96	»	3,66
Carbonate de magnésie	3,71	3,59	0,50	»	tr.
Silice	1,40	24,76	7,85	6,72	5,00
Alumine	0,63	20,10	7,95	»	1,70
Soufre	»	»	0,19	0,21	non dosé (1)
Matière bitumineuse	3,03	21,71	13,56	»	9,50
Acide phosphorique	»	»	tr.	tr.	non dosé.
Fer métallique	41,30	14,00	30,40	30,50	35,70

(1) Mais en proportion notable.

Les nos 1 et 2 sont extraits de l'ouvrage de M. Truran (page 8). Le manganèse, le soufre et le phosphore n'ont pas dû être recherchés.

Les nos 3 et 4 sont extraits de la notice déjà citée de M. Schwarz (*Zeitschrift von Carnall*, 3e volume, 1re livraison.

Le n° 5 se rapporte à un échantillon analysé par l'un de nous; en outre de cette analyse complète, une calcination à une chaleur modérée a été faite sur la partie la plus noire du même échantillon; elle a donné près de 15 p. 100 d'eau et de goudron; l'eau était légèrement ammoniacale. Cette calcination avait été faite à une température insuffisante pour décomposer en entier les carbonates, car le résidu calciné perdait encore au blanc 20 p. 100 de son poids.

Grillage des blackbands crus avant leur emploi dans les hauts fourneaux.

Ces minerais sont soumis au grillage avant d'être passés au haut fourneau. Le grillage se fait à l'air libre en tas de 10 à 15 pieds de hauteur, de 40 à 50 pieds de large ou de long; le minerai en gros fragments, tel qu'il sort de la mine, est accumulé dans ces tas, dont on consolide les côtés par du menu légèrement tassé, formant ainsi une sorte de couverte latérale. Le feu se met au bas du tas à l'aide de menue houille; le grillage se poursuit dès lors pendant un mois environ, la chaleur nécessaire étant fournie par la combustion des matières bitumineuses du blackband cru.

La reprise du minerai grillé est quelquefois assez difficile avec certaines variétés un peu siliceuses qui s'agglomèrent pendant la calcination. En général, on obtient des fragments conservant leur forme première, spongieux, donnant cependant fort peu de menu pendant les diverses manutentions qu'ils doivent subir avant leur introduction dans le haut fourneau.

Les analyses suivantes, n° 6, n° 7 et n° 8, représentent les compositions respectives des minerais grillés des mêmes provenances que les nos 3, 4 et 5 de blackbands crus rapportés précédemment :

	N° 6	N° 7	N° 8
Peroyde de fer	71,95	66,20	89,75
Protoxyde fer	»	»	tr.
Oxyde rouge de manganèse	3,94	8,95	1,70
Alumine	»	»	1,00
Argile	14,66	16,35	»
Chaux	4,68		2,24
Acide sulfurique	2,57	»	non dosé.
Sable	2,30	8,50	»
Sable et un peu d'argile	»	»	5,00
Acide phosphorique	»	»	0,95
Fer métallique	50,37 %	46,34	62,16 %

Observations sur la composition des blackbands crus et grillés.

Nous ignorons si M. Schwarz, auquel sont dues les analyses n° 6 et n° 7, y a recherché l'acide phosphorique; mais en effectuant l'analyse n° 8, l'un de nous a apporté tous ses soins à la détermination de cet élément, dont le dosage a été fait d'ailleurs sur 5 grammes de matière.

Les analyses nos 1 et 2, faites en Angleterre, n'indiquent pas d'acide phosphorique, mais il est bon de rappeler que les chimistes anglais, praticiens avant tout, ne recherchent guère, dans leurs essais ou analyses, que les éléments principaux, sauf demande formelle de la part des industriels qui leur adressent les échantillons. Il est donc probable qu'on n'aura pas cherché l'acide phosphorique dans les échantillons nos 1 et 2. C'est aussi l'opinion de M. *H. S. Blackwell*, qui, en rapportant l'analyse n° 1 dans un petit opuscule déjà cité, ajoute : « L'acide phosphorique n'y a pas

« été déterminé, mais un échantillon de *blackband* du « *North-Staffordshire*, grillé, analysé par le docteur « *Percy*, en a accusé une proportion de 1,69 p 100. » M. *Blackwell*, généralisant ce défaut des blackbands, n'hésite pas à lui attribuer la grande fluidité et la faible ténacité reconnues généralement, dit-il, aux fers (fontes) d'Écosse.

Nous remarquerons aussi, au sujet de la composition de ces minerais, non-seulement leur grande richesse après grillage, mais encore leur contenu assez élevé en bases et notamment en chaux et manganèse oxydé. Indépendamment de l'action épurative que ces derniers éléments peuvent et doivent exercer sur le métal, il est aisé de comprendre qu'en doses aussi élevées ils communiquent au minerai une fusibilité propre très-grande; la proportion de castine peut, en conséquence, être réduite de beaucoup, si le combustible est d'ailleurs assez pur.

En résumé, les blackbands grillés sont d'excellents minerais.

En résumé, les bonnes variétés de blanckbands grillés constituent des minerais *riches*, *fusibles* et *très-réductibles*, d'autant plus *réductibles* qu'ils se conservent parfaitement à l'état fragmentaire, donnent peu de menu, et par conséquent doivent peu provoquer de chutes de mine ou de tassements dans l'intérieur des hauts fourneaux.

Analyse à l'appui de leur grande réductibilité.

Ce qui établit encore mieux d'ailleurs leur extrême réductibilité, c'est l'accident, assez souvent constaté dans les grillages, d'une transformation partielle de certains fragments en mélange de fer et de protoxyde; un fragment de cette nature a donné à l'analyse :

Fer métallique.	59,40	n° 8 *bis*.
Protoxyde de fer.	25,80	
Sulfure de fer.	3,31	
Argile et sable ou silice.	10,48	
Total.	98,99	

Variété de minerais, dite Clayband.

Les minerais argileux (clayband) exploités plus spécialement dans l'Ayrshire et dans les comtés du *Fifeshire*, du *Clackmannanshire*, etc., ressemblent plus ou moins à ceux dont il a été parlé précédemment au sujet de divers districts d'Angleterre; il paraissent cependant généralement plus riches en Écosse que dans les autres contrées du Royaume-Uni.

Nous nous bornerons à citer les analyses suivantes comme exemple de la composition des bonnes variétés de ces minerais :

	MINERAIS CRUS.		MINERAIS GRILLÉS.	
	N° 9	N° 10	N° 11	N° 12
Protoxyde de fer et de manganèse.	40,33	53,22	»	»
Peroxyde de fer	1,87			
Peroxyde de fer et oxyde de manganèse.	»	»	78.82	75,95
Sulfure de fer	0,33	»	non dosé.	non dosé.
Chaux.	5,60	3,92	4,43	3,72
Magnésie	2,62	tr.	tr.	tr.
Alumine.	4,76	2,66	3,70	3,33
Silice et argile.	9,30	11,70	19,00	17,00
Eau et acide carbonique	32,29	28,50	»	»
Matières charbonneuses.	2,40			
	100,00	100,00	100,00	100,00
Fer métallique	32,80 %	41,20	50,48	52,66

Le minerai n° 10 était d'un gris foncé, presque noir et plus semblable à certains blackbands qu'aux minerais argileux de l'Angleterre et du Pays de Galles. Les trois échantillons n°s 10, 11, 12 provenant d'une des fonderies de l'Ayrshire dont les produits sont les plus réputés, ont été examinés par l'un de nous : dans tous il y a reconnu qualitativement le manganèse et le phosphore en doses très-appréciables.

Hématite du Cumberland.

Un dernier minerai qui se consomme, en faible proportion toutefois pour le moment, c'est l'hématite ou *red ore du Cumberland*; il en a été suffisamment question ailleurs pour que nous n'en parlions plus ici.

Deux sortes de castine usitées en Écosse.

III. *Fondants.* — Le seul fondant usité en Écosse est la castine. Tantôt c'est un calcaire retiré du terrain

houiller lui-même, tantôt c'est un calcaire plus pur venant d'Irlande. Le premier est d'un gris bleuâtre, le plus souvent bitumineux, toujours souillé d'une certaine dose d'argile qui en fait, au résumé, un fondant assez médiocre; le second, d'aspect crayeux, renfermerait, d'après M. Schwartz :

Carbonate de chaux.	97,75	n° 13.
Sable.	0,82	
Eau.	0,41	
Matières organiques et pertes.	1,02	
Total.	100,00	

IV. *Argiles réfractaires.* — Les argiles réfractaires de première qualité du Lanarkshire paraissent lutter avec les meilleures sortes de l'Angleterre; M. Schwartz leur a trouvé la composition suivante :

Silice.	59,40	n° 14.
Alumine.	28,95	
Peroxyde de fer.	1,05	
Carbonate de chaux.	Traces	
Eau et matières organiques. . . .	11,05	
Total.	100,45	

§ 3. *Dimensions et profils des hauts fourneaux. Construction et prix de ces appareils.*

Deux modèles principaux de profils de hauts fourneaux.

Deux modèles principaux sont aujourd'hui adoptés en Écosse comme profils de hauts fourneaux; ils sont représentés par les *fig.* 1, 2 et 3, Pl. VI. Le tracé de la *fig.* 1 est cependant encore aujourd'hui le plus répandu, les avis étant assez divisés quant à la nécessité des grandes hauteurs de 55 et 60 pieds anglais (16 à 18 mètres). Par contre, l'opinion paraît décidément fixée, quant à la convenance des accroissements de dimensions horizontales successivement introduits depuis vingt ou vingt-cinq ans.

On retrouvera, page 137, les dimensions principales des deux modèles actuels de fourneaux écossais et celles des hauts fourneaux en usage dans ce district vers 1833 (colonnes longitudinales 1, 2 et 3 du tableau, page 137).

Nous avons dit, au sujet de ce tableau, quelle portée ont les changements de dimensions opérés d'une époque à l'autre; nous n'y reviendrons pas. Observons seulement qu'en 1833 toutes les dimensions transversales, sauf celles de l'ouvrage et du creuset, étaient déjà fort agrandies, et que les changements depuis cette époque ont surtout porté sur l'élargissement de ces deux dernières parties du profil.

Adoption de plus en plus générale des constructions et des formes les plus légères.

Les profils simples, avec suppression d'ouvrages et d'étalages proprement dits, qui étaient à l'essai de 1830 à 1835, ont été peu à peu adoptés définitivement; les hauts fourneaux au coke rappellent, à cet égard, les formes des hauts fourneaux appliqués sur le continent au traitement des minerais spathiques, les plus fusibles pour fontes blanches lamelleuses.

Sous le rapport de la construction, les *fig.* 1, 2 et 3, Pl. VI, montrent que les formes les plus légères sont décidément adoptées ici comme dans les districts d'Angleterre où l'on a eu récemment à établir ou à reconstruire des hauts fourneaux. Il n'est pas sans intérêt de remarquer combien ont pu être réduites l'épaisseur des parois de la cuve et même celle des étalages, sans que ni la solidité ni le roulement de ces immenses appareils en aient été compromis; l'enveloppe de la cuve, sur la plus grande partie de sa hauteur, n'a pas plus de 3 à 4 pieds contre 6 à 7 aux étalages et au gueulard. On voit par là de quelle marge on peut disposer pour l'agrandissement des cuves dans beaucoup d'anciens fourneaux à tour massive, sans avoir à les rebâtir en entier, circonstance qui a motivé souvent

l'ajournement de modifications presque toujours avantageuses.

Aux prix de matériaux réfractaires qui seront rapportés plus tard, le coût total d'un haut fourneau du plus grand modèle s'élève en Écosse à 4.500 liv. st., soit 112.500 francs, non compris la machine soufflante et les appareils à air chaud.

Gueulards libres, pas de prises de gaz.

Le gueulard est libre dans la plupart des hauts fourneaux écossais; les gaz et flammes perdues s'échappent par une cheminée percée de deux à quatre portes pour le chargement.

En 1850 et années suivantes, on a cependant essayé dans quelques usines de recueillir les gaz perdus; mais on s'était borné à percer, à 3, 4 ou 6 pieds sous le gueulard, un certain nombre d'ouvreaux amenant les gaz ou directement sous des appareils d'air chaud placés au sommet du haut fourneau ou, par des conduites, à des chaudières situées au bas; le gueulard, dans ces essais promptement abandonnés, n'avait même pas été fermé.

§ 4. *Installations accessoires des hauts fourneaux.*

Les généralités que nous avons données précédemdemment sur les installations accessoires des hauts fourneaux, sur les soufflerie, sur les appareils à air chaud, comprennent tout ce que nous aurions à dire ici sur le même sujet. Nous nous bornerons donc à donner quelques détails complémentaires sur un des appareils à air chaud imaginés pour le service des grands hauts fourneaux d'Écosse, sur l'appareil de l'usine de Gartsherrie.

Le modèle en est représenté par les *fig.* 3, 4, 5, 6, tel qu'il a été construit pour la première fois par M. Whithelaw, directeur des fonderies de Gartsherrie.

L'air froid arrive en A, passe d'abord dans la partie $A_1 A_2$, en circulant dans les tubulures en siphon *ab*, *a'b'*, *a''b''*, *a'''b'''*, placées à l'arrière du four, c'est-à-dire les moins échauffées.

De là le courant d'air se bifurque entre les deux lignes de tuyaux doubles BBB....., B'B'B'.....; des interrupteurs *ii*..... se trouvent dans les deux compartiments de chaque ligne, afin de forcer le gaz à passer alternativement à travers les tubulures-siphons qui réunissent ces compartiments.

A la sortie des deux lignes de tuyaux doubles, l'air échauffé trouve des conduits AC, AC..... par lesquels il se rend aux porte-vent.

Nous avons déjà dit, aux généralités sur la fabrication de la fonte, que le principe de ces dispositions est le même que celui des appareils Calder modifiés dont on fait usage aux usines de Clarence-Works (Cleveland); dans les deux cas, on interrompt la courbe des siphons sur le point où elle s'use le plus rapidement. Nous avons dit aussi que la complication des formes, surtout dans le dispositif qui nous occupe, nous paraissait être une cause d'infériorité de ces appareils par rapport au système Calder ordinaire. Nous sommes assez portés à maintenir cette opinion, malgré ce qui nous a été affirmé à Gartsherrie des bons services obtenus de cet appareil sous le rapport de la durée.

Mais si la forme des tuyaux verticaux paraît désavantageuse, quelques autres dispositions de cet appareil semblent au contraire mieux comprises et surtout bien appropriées au service des grands hauts fourneaux qu'il doit desservir. Il présente d'abord l'avantage généralement constaté dans les chaufferies où l'air circule dans des caisses métalliques à parois planes : l'avantage d'une grande surface de chauffe : elle est ici ap-

proximativement de 160 mètres quarrés. A 200 mètres cubes d'air par minute, pour un des grands hauts fourneaux actuels, la surface de chauffe utile serait donc encore de $0^{m2},80$; elle dépasserait 1 mètre quarré dans les hauts fourneaux encore assez nombreux soufflés à 150 mètres cubes (1).

En outre, le parcours total de l'air y est de 25 à 30 mètres, grâce aux interrupteurs i, i'. Ces interrupteurs obligent encore l'air à se diviser entre un nombre de tubulures d'autant plus grand, c'est-à-dire par une section d'autant plus large qu'il est plus chauffé déjà; toutes circonstances éminemment favorables à un bon chauffage, énergique et économique.

En effet, avec une grille spéciale de 2 mètres quarrés de surface, sur laquelle on consomme de 2 à 300 kilog. de houille menue par heure, on parvient, dans ces appareils, à chauffer l'air à 350, 400 et même 450° c.

Grâce à l'augmentation progressive des sections offertes à l'air au fur et à mesure de son échauffement, la circulation à travers cet appareil ne semble pas non plus occasionner de trop grandes résistances, et l'on obtient aisément à la tuyère des pressions de $0^{m},13$, $0^{m},14$ et $0^{m},16$ de hauteur de mercure.

Prix de cet appareil à air chaud.

Avec des prix élémentaires de tuyaux de 90 shillings la tonne pour les plus simples et 160 shillings pour les plus compliqués, les murs en briques réfractaires ayant 1 pied 1/2 d'épaisseur, les briques et argiles coûtant enfin les prix que nous rapporterons plus tard, le coût d'un appareil comme celui des *fig.* 3, 4, 5, 6 serait de 500 liv. st. = 12.000 francs.

(1) Nous parlons là des volumes de vent calculés d'après les formules ordinaires de la mécanique, et nous avons vu précédemment que ces chiffres sont trop forts.

§ 5. *Travail et roulement des hauts fourneaux écossais en fonte de moulage. — Nature des produits.*

I. *Composition des charges.* — La composition des charges varie naturellement d'une usine à l'autre suivant la nature des houilles et minerais traités; cependant les différences ne sont jamais bien considérables, ainsi qu'il résulte du tableau suivant.

Augmentation de volume des charges proportionnelle à l'accroissement des dimensions transversales du haut fourneau.

Le volume et le poids des charges ont dû être agrandis en raison des accroissements de dimensions transversales des hauts fourneaux; on s'en assurera en comparant les compositions de charge de 1833 avec celles d'aujourd'hui :

	a (*)	*b*	*c*	*d*	*e* et *f*
	qx anglais.	qx ang.	qx anglais.	qx anglais.	qx angl.
Houille	7 (352k)	10	14 houille . .	8	6 à 7
			7 coke. . . .		
Minerai	6 1/2 (328)	8	15 minerai. .	6 à 7	6 1/2
Castine.	1 1/2 (656)	2 3/4	5 de castine.	1 1/4 à 1 1/2	1
Rendement du minerai . . .	55 à 60 %	45 %	55 à 50 %	55 à 60 %	45 à 50 %

(*) Les lettres *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* se rapportent aux hauts fourneaux dont nous avons donné les dimensions précédemment, *e* et *f* aux hauts fourneaux de 1833, *a*, *c* et *d* aux fourneaux ordinaires en usage aujourd'hui (*fig.* 2), et *b* au profil du modèle le plus élevé (*fig.* 1).

En écartant l'exemple *c*, qui se rapporte au cas, très-exceptionnel aujourd'hui en Écosse, de l'emploi simultané de la houille et du coke, on voit que les poids extrêmes de charges sont représentés par les deux colonnes *a*, *b* qui correspondent aux deux modèles aujourd'hui adoptés.

Le dosage de castine dépend moins des minerais que de la nature du combustible.

Remarquons encore que les proportions de castine ne varient pas seulement avec la richesse du minerai, mais *beaucoup et surtout avec la propreté des combustibles.*

Le dosage de la castine varie entre 15 et 30 p. 100. Or les blackbands grillés à 55 ou 60 p. 100 de teneur ne réclameraient certainement pas 33 p. 100 de castine comme dans la charge *c*; tout au plus en faudrait-il 15 à 20 p. 100 comme dans l'exemple *d*; l'excès du dosage en castine tient donc, non pas à la nécessité de composer avec les minerais des laitiers suffisamment basiques, mais à la nécessité de fondre les cendres argileuses de la houille et du coke assez sales qui entrent dans la charge *c*.

II. *Travail des chargeurs et des fondeurs.* — Les charges amenées par les balances d'eau, en brouettes ou en wagonnets, sont directement versées par chacune des portes du gueulard, les trois éléments : houille, minerai et castine, successivement et séparément. Il n'y a donc pas de lit de fusion ou mélange préalable de minerai et de fondants. Deux chargeurs par douze heures suffisent au chargement, même dans les grands hauts fourneaux ; l'un charge le charbon, l'autre les minerais et fondants.

Fréquence des purges à la pelle du creuset des grands hauts fourneaux à la houille.

Deux fondeurs, un maître et un aide par douze heures, sont employés au bas du haut fourneau aux coulées, à la surveillance et au nettoyage du creuset et des tuyères ; ils ont, de plus, de fréquentes purges à la pelle à pratiquer dans le creuset. Ce travail, fort pénible, qui se renouvelle certainement plus souvent dans les grands hauts fourneaux écossais à la houille que partout ailleurs, est facilité par les moyens indiqués au chapitre des généralités.

Nous ne reproduirons pas ici le résumé des principales circonstances du roulement des hauts fourneaux écossais. Il a été présenté d'une manière suffisamment complète dans le tableau de la page 174. Les trois premières colonnes horizontales de ce tableau

renferment les résultats propres à faire apprécier le travail des fonderies écossaises. Sauf à y revenir un peu plus tard, bornons-nous, pour l'instant, à signaler les traits saillants de ce travail :

1° Très-haute température de l'air.

2° Soufflage des plus énergiques. Production énorme pour de la fonte de moulage.

3° Allure cependant très-lente; la descente des charges dure, en effet, autant dans les grands fourneaux d'aujourd'hui que dans les plus petits d'autrefois.

4° Accroissement de la consommation de houille au haut fourneau depuis 1833.

III. *Nature des produits* (fontes et laitiers). — 1° *Fontes.* Les fontes grises, douces, pour moulages en deuxième et troisième fusion, sont classées dans les usines écossaises en quatre sortes dites nos 1, 2, 3 et 4.

Classification et destination des fontes écossaises.

Les deux premiers numéros seuls sont propres aux moulages en deuxième fusion et susceptibles de supporter, dans cette opération, de fortes proportions de bocages ou vieilles fontes. Ces deux premiers numéros se vendent tantôt mélangés, tantôt séparés. Le n° 3 est déjà trop clair pour la moulerie de deuxième fusion; lorsque les usines ne le consomment pas elles-mêmes en moulage de première, on l'écoule mélangé aux deux autres, sous le nom de *numéros mélangés* (3/5 n° 1 et 2/5 n° 3 par exemple). Le n° 4 et *à fortiori* le n° 5 (truitées) quand il s'en produit accidentellement, ne sont bons que pour les forges ou pour certains moulages durs de première fusion.

Les différences notables que le commerce fait, comme prix, entre ces divers numéros font que les usines enregistrent avec soin les proportions obtenues de ces

quatre qualités, mais en les groupant deux à deux, nos 1 et 2, nos 3 et 4.

Proportions de ces divers numéros obtenues dans les fonderies écossaises.

Voici un résumé du roulement, considéré à ce point de vue, d'une des principales usines du Lanarkshire :

ANNÉES.	QUALITÉS DE FONTES obtenues.		MATIÈRES CONSOMMÉES PAR TONNE de 1.015 kilogrammes.			
	Nos 1 et 2	Nos 3 et 4	Minerai.	Castine.	Houille.	Menu de chauffage.
			qx.	qx.	qx.	qx.
1842 à 1850	65,4 %	34,6	34,50(a)	8,34	41,89	10,01
1850 à 1858	54,4	41,6	37,74	8,17	42,06	10,56

(a) Il faut se rappeler qu'il s'agit ici du quintal anglais de 112 livres dont 20 font une tonne de 1.015 kil.

Malgré l'excessive régularité des matières premières, on remarquera tout de suite que le roulement a été moins constant en nos 1 et 2 pendant la seconde période que pendant la première.

Composition des fontes.

Comme composition des fontes, nous rapporterons les analyses suivantes, dont les deux premières ont été faites par l'un de nous, le n° 15 sur de la fonte n° 1, le n° 16 sur de la fonte n° 4, provenant d'une des fonderies d'Écosse les plus réputées comme qualité; les analyses nos 17 et 18 se rapportent encore à de bonnes fontes nos 1 et 2 et sont dues, comme les nos 19 et 20, à MM. Penny et Wallace, chimistes à Glasgow (ces quatre derniers échantillons provenant d'ailleurs de la même usine que les premières).

	N° 15	N° 16	N° 17	N° 18	N° 19	N° 20
Carbone libre . .	2,300	2,700	4,40	1,75	1,65	1,00
— combiné.	0,700	0,400	tr.	0,84		
Silicium.	2,880	1,300	2,68	2,37	8,00	13,00
Soufre	0,068	0,068	0,08	0,07	0,05	0,03
Phosphore. . . .	0.210	non dosé.	0,10	0,07	»	»
Manganèse. . . .	(a)	»	»	»	»	»
Fer (b).	»	»	»	»	»	»

(a) Non dosé, mais a été reconnu qualitativement en quantité notable.
(b) Par différence dans toutes les analyses.

Observations. — Evidemment les auteurs des analyses 17, 18, 19 et 20 n'ont pas recherché le manganèse; car nos analyses nous ont démontré que les fontes contiennent ce métal en doses très-notables.

Les échantillons nos 17 et 18 provenaient d'une même gueuse, le premier du centre, et le second de la partie extrême et extérieure de la pièce.

Les échantillons nos 19 et 20 provenaient de fontes obtenues avec des minerais très-siliceux ; les acheteurs s'étaient plaints de la mauvaise qualité de ces produits, et le fondeur, après les analyses que nous rapportons, corrigea l'allure du haut fourneau par une augmentation de la dose de castine et une réduction de la proportion de ces minerais médiocres.

Caractères et composition des laitiers. Passage du manganèse des minerais à l'état de sulfure contenu dans les laitiers.

2° *Laitiers.* Les laitiers sont généralement pierreux, d'un blanc grisâtre, ne présentant que fort rarement quelques veinules verdâtres et vitreuses : cela seulement quand l'allure se refroidit ou quand la fonte passe au n° 4. Ce sont, d'ailleurs, des laitiers extraordinairement basiques et courts à la coulée, ne s'étirant que peu ou point en fils.

Leur composition est assez constante, si l'on en juge par les analyses suivantes :

	N° 21	N° 22	N° 23	N° 24	N° 25	Observat.
Silice	32,65	35,00	35,34	36,40	31,60	
Alumine	23,00	19,70	20,47	26,00	20,00	
Chaux	31,00	29,90	38,72	28,68	36,72	
Magnésie	tr.	tr.	»	3,52	5,20	
Protoxyde de fer	2,00	1,00	tr.	1,50	1,80	
— de manganèse.	4,20	8,20	»	0,50	0,07	
	soufre	soufre	soufre			
Sulfure de manganèse.	8,10 2,97	7,00 2,70	5,39 2,60	»	»	(a)
Sulfure de calcium. .	»	»	1,35	»	»	
Soufre	»	»	»	2,78	3,15	
	99,95	100,80	101,27	99,38	98,54	

(a) Les chimistes anglais ne disent pas à quel état le soufre se trouve dans ces laitiers.

Les analyses nos 21 et 22, ont été faites par l'un de nous sur des laitiers correspondant aux fontes nos 15 et 16. Le n° 23 est extrait de la note déjà citée de M. Schwarz. Les nos 24 et 25 sont de MM. *Penny* et *Wallace* de *Glasgow*.

M. Schwarz, dans l'analyse 23, admet que tout le manganèse du laitier s'y trouve à l'état de sulfure. A l'appui de son opinion, ce métallurgiste dit (p. 268, 4e livr. 5e vol. du *Zeitschrift von Carnall*) : « Par la digestion dans l'acide acétique très-« étendu, quoique le silicate du laitier s'attaque un peu, con-« trairement à mes prévisions, j'ai cependant, dans la liqueur « de digestion, observé surtout une grande quantité de manga-« nèse et de chaux, provenant des sulfures correspondants, « ceux-ci se dissolvant à peu près complétement par l'acide « acétique. »

M. Schwarz ajoute que, dans une seconde expérience, il a traité le laitier par une dissolution, aussi neutre que possible, de sulfate de cuivre; le laitier s'est coloré en noir : la liqueur débarrassée de l'excès de cuivre et traitée pour manganèse en accusait des quantités notables; or, le laitier n'était pas attaqué et, par conséquent, le sulfure de manganèse seul, en réagissant sur le sulfate de cuivre, avait pu produire un sel soluble de manganèse.

Dans les analyses nos 21 et 22, l'un de nous s'est assuré qu'en effet le soufre est contenu dans ces laitiers à l'état de sulfures de manganèse et de calcium. Après l'application des deux modes d'essai indiqués par M. Schwarz, un troisième, plus certain encore, croyons-nous, a été suivi dans la constatation de la présence du sulfure manganeux.

Trois grammes de laitier finement porphyrisé, mis en digestion dans une solution chaude de potasse, ont été soumis à un courant de gaz chlore. Au bout d'une demi-heure de passage du chlore, la liqueur toujours basique se colorait en rose de permanganate de potasse plus ou moins intense et le laitier en brun jaunâtre de peroxyde de manganèse hydraté. La liqueur, après reprise, à l'acide chlorhydrique et évaporation à sec, n'accusait aucune trace de silice; donc le laitier n'avait pas été attaqué quant au silicate contenu : au contraire, la liqueur traitée par le chlorure de barium, donnait un précipité abondant de sulfate de baryte, et après l'enlèvement de l'excès de baryte, elle ne renfermait plus que de la chaux et de l'oxyde de manganèse. Ainsi donc, le laitier n'était attaqué que par les sulfures contenus, c'est-à-dire sulfure de calcium et sulfure de manganèse. Il est difficile d'arriver, par ce procédé, à une attaque complète et à un véritable dosage du soufre combiné à l'état de sulfures de manganèse et de calcium; c'est pourquoi, dans l'incertitude sur les proportions de calcium et de manganèse, nous avons supposé, dans les analyses 21 et 22, tout le soufre à l'état de sulfure de manganèse.

Quoi qu'il en soit du mode de combinaison du soufre, il n'est pas sans intérêt de remarquer quelles doses élevées de ce métalloïde des laitiers de cette composition peuvent retenir, et combien ils sont efficaces au point de vue de la désulfuration du métal, puisque les fontes en renferment si peu. Remarquons d'ailleurs que le manganèse n'est pas absorbé en entier par le soufre, car les fontes en contiennent des quantités encore importantes (1).

(1) Rappelons à ce sujet que M. Berthier avait déjà indiqué (p. 285, t. II, *Des essais par voie sèche*) la présence du sulfure de calcium dans les laitiers de Hayanges; il ajoutait : il y a lieu de croire que dans quelques cas le soufre est combiné à du manganèse métallique.

§ 6. *Discussion des résultats de la fabrication de la fonte en Écosse.*

Pour terminer ce qui regarde la partie technique de la fabrication de la fonte en Écosse, nous discuterons maintenant les résultats précédents au double point de *vue de la qualité des produits et des consommations en matières premières, main-d'œuvre, frais généraux et divers.*

Classement commercial des fonderies écossaises, sous le rapport de la qualité des fontes.

I. *Qualité des produits.* — Sous le rapport de la qualité des produits, la meilleure base d'appréciation est toujours le classement commercial, quand surtout, comme en Écosse, les produits sont depuis longtemps l'objet d'un commerce important et tout spécial. Or le classement commercial des fontes d'Écosse est demeuré à très-peu près constant depuis vingt ou vingt-cinq ans : tandis que les fonderies de *Gartsherrie*, *Glengarnock*, *Ardeer*, *Calder*, *Coltness*, *Summerlée*, écoulent leurs produits aux prix maxima, les usines de *Lugar*, *Muirkirk*, *Kinneil*, *Castle-Hill*, *Portland*, *Dalmellington*, *Devon*, *Almond*, *Lochgelly*, *Lumphinans*, *Gladsmuir*, *Wishaw*, n'obtiennent que des prix inférieurs aux précédents de 4, 5 et 6 shillings (quelquefois même plus encore) par tonne anglaise, tous les établissements non dénommés formant une classe intermédiaire quant aux prix, et par conséquent quant aux qualités, entre les deux extrêmes dont il vient d'être question.

Qualités spéciales recherchées dans les fontes d'Écosse.

D'un autre côté, si l'on consulte les exigences de la destination spéciale des fontes d'Écosse, on reconnaît que la qualité qu'y recherchent avant tout les consommateurs, c'est *l'homogénéité ou la constance du grain et de la couleur*. Les acheteurs étrangers, qui estiment ces fontes pour les proportions élevées de vieux mou-

lages ou bocages qu'elles peuvent supporter en seconde fusion, désirent surtout, une fois fixés sur ces proportions, n'avoir plus de tâtonnements à faire lors de l'emploi de lots nouveaux.

Après cette première qualité, les consommateurs réclament un métal *fusible*, *chaud à la coulée*, c'est-à-dire *bien fluide à l'état fondu*.

On estime enfin les fontes écossaises pour leur *mollesse*, qui les rend très-propres à la préparation de pièces à tourner, limer et ajuster après moulage.

La *ténacité*, objet de préoccupation toute spéciale dans certaines fonderies, notamment dans quelques fonderies à l'air froid d'Angleterre, n'a ici qu'une importance toute secondaire.

L'homogénéité et la constance des fontes écossaises tiennent surtout à la nature des minerais.

En ce qui regarde l'*homogénéité* et la *constance* des fontes, pourquoi toutes les usines écossaises ne réussissent-elles pas à produire des fontes également bonnes? La cause en est-elle dans les procédés ou dans la nature des matières premières?

Les procédés, nous l'avons vu, sont à très-peu près uniformes dans les fonderies d'Écosse. On ne rencontre pas ici, comme dans quelques autres districts du Royaume-Uni, des établissements qui, pour conserver à leurs produits une réputation de qualité dès longtemps établie, écartent systématiquement toute modification de procédés et travaillent aujourd'hui à peu près exactement comme au début de ce siècle. En Écosse, au contraire, les usines réputées pour la qualité ont, comme les autres, souvent même avant les autres, adopté tous les changements susceptibles d'améliorer les conditions économiques de la fabrication.

A ces changements, du moins à quelques-uns d'entre eux, on doit très-certainement attribuer la réduction,

constatée pendant la période 1850-58, dans les proportions des nos 1 et 2 obtenues avec des matières premières qui n'ont d'ailleurs pas varié. Mais le tableau que nous avons rapporté à ce sujet est précisément extrait des livres d'une des fonderies les plus réputées pour l'homogénéité et la constance de ses fontes, aujourd'hui comme par le passé.

C'est dire que les procédés n'exercent sur la qualité qui nous occupe qu'une influence insuffisante à expliquer les différences qu'on observe à cet égard entre les diverses usines écossaises.

C'est donc dans les matières premières qu'il faut chercher la raison de ces différences. La constance du grain et de la couleur suppose l'uniformité parfaite du roulement du haut fourneau : elle suppose particulièrement la réduction à peu près complète du minerai avant son arrivée dans les régions inférieures et un régime calorifique constant au niveau des tuyères.

Or le tableau rapporté précédemment montre combien les minerais d'Écosse sont, dans certaines usines, réguliers de richesse et de composition, puisque le rendement et la proportion de castine sont demeurés sensiblement les mêmes, pendant une période de seize ans, dans la fonderie à laquelle se rapportent ces renseignements.

D'un autre côté, la réductibilité des blackbands grillés est réellement excessive, nous l'avons déjà fait remarquer. C'est même à cette grande réductibilité, *en même temps qu'à la lenteur de la descente des charges*, que, malgré leur richesse, ces minerais doivent de pouvoir être traités en fonte grise, contrairement à la règle générale admise ailleurs et d'après laquelle le roulement en cette sorte de produits réclame plutôt un lit de fusion pauvre et réfractaire.

Le mushet blackband a été la matière première la plus propre au roulement en fonte grise, homogène et constante.

Le *mushet blackband*, dont la teneur après grillage oscillait entre 55 et 60 p. 100, descendant rarement à 45, d'une solidité et d'une réductibilité parfaites, a été, surtout depuis l'emploi de l'air chaud, autre régulateur de l'allure en fonte grise, la plus convenable des matières premières pour l'obtention régulière de la qualité dont il s'agit.

Les usines dont la réputation occupe le premier rang à cet égard sont effectivement celles qui ont toujours eu jusqu'ici les plus larges approvisionnements en cette sorte de minerai.

Par une heureuse coïncidence, c'est aux mêmes usines qu'étaient échus les plus beaux champs d'exploitation en charbons durs, solides et relativement propres (diverses variétés de splint coal).

Quelques fonderies qui n'avaient pas la ressource exclusive du mushet blackband parvinrent cependant à se maintenir dans un bon rang par l'emploi de mélanges d'autres blackbands avec des minerais argileux (claybands). Mais, en ce cas encore, la régularité des lits de fusion était assurée par la nature de ces derniers minerais, exceptionnellement riches, ainsi qu'il a été observé au sujet des analyses nos 9, 10, 11 et 12.

Au contraire, les hauts fournaux qui ne disposaient que de minerais médiocres, comme ceux correspondant aux analyses nos 2, 3 et 4, et qui n'avaient pour fondre des minerais plus riches que des combustibles inférieurs, exigeant des dosages de 30 à 35 p. 100 de castine, et d'une castine quelquefois de qualité inférieure, ces hauts fourneaux n'ont jamais livré que des produits irréguliers.

D'ailleurs les minerais les plus pauvres et les plus irréguliers étaient souvent aussi, nouveau désavan-

tage, les plus siliceux et sulfureux, peut-être encore les moins manganésés et les plus phosphoreux, c'est-à-dire, en un mot, les plus propres à laisser dans le métal le maximum d'impuretés, et par conséquent à affaiblir encore quelques-unes des autres qualités demandées aux fontes écossaises.

Parts d'influence de la nature des minerais et des procédés sur les autres qualités des fontes écossaises.

Quant à ces autres qualités, il n'y a certainement pas une égalité parfaite entre toutes les fontes d'Écosse, mais elles sont généralement *très-fusibles* et *très-fluides*. Comme autres traits assez constants aussi de ces produits, on connaît *leur mollesse et leur faible ténacité*.

On a souvent attribué en bloc tous ces caractères à la présence du phosphore dans les minerais d'Écosse (*black* ou *clay-bands*).

Sans vouloir nier qu'une part de ces effets puisse être due à un élément qui existe certainement dans la plupart des minerais écossais en doses plus ou moins fortes, nous pensons cependant, d'après les analyses ci-dessus rapportées des minerais et des fontes, que le silicium et peut-être les métaux terreux jouent un rôle beaucoup plus important que le phosphore dans la composition de celles-ci, et, par conséquent, doivent influencer beaucoup plus leur qualité (1).

Le silicium joue dans la composition des fontes d'Écosse un rôle plus important que le phosphore.

Malgré des laitiers extraordinairement basiques, malgré la présence du manganèse en plus forte dose qu'on ne le suppose généralement, le contenu des fontes d'Écosse en silicium descend rarement au-dessous de 2 à 2,50 p. 100. Il paraît souvent supérieur à la teneur en carbone, tandis que la proportion de phosphore dépasse rarement 0,50 à 0,60 p. 100, quand elle n'est pas de quelques millièmes seulement.

Il semble donc qu'ici, comme d'ailleurs dans bon

(1) Voyez ce qui a été dit à ce sujet de l'*influence spéciale de l'aluminium*, pages 167 et 168.

nombre de roulements en fonte grise, dans les allures chaudes, en un mot, le silicium soit un élément constitutif des fontes au même titre que le carbone.

Or rien de ce qu'on sait aujourd'hui des alliages de fer, silicium, carbone et phosphore, n'infirme l'hypothèse que le premier métalloïde est susceptible de communiquer à la fonte *une fusibilité* et même *une fluidité à la coulée* aussi grandes que celles qui peuvent résulter de la présence de quelques centièmes du second ou de quelques millièmes du troisième. On sait même positivement que les fontes très-siliceuses sont toujours non-seulement très-fusibles et très-fluides, mais encore très-molles : tous caractères des fontes de moulage écossaises.

D'un autre côté, chacun sait aujourd'hui que le défaut de tenacité reconnu aux fontes à l'air chaud tient à l'excès de silicium dont la haute température des régions inférieures du haut fourneau et une réduction plus complète des minerais favorisent le passage dans le métal (1).

(1) Ayant eu l'occasion de communiquer ces aperçus à M. Janoyer, ingénieur-directeur des hauts fourneaux de Vierzon, qui s'est beaucoup occupé des fontes siliceuses, nous avons reçu de lui des renseignements tout à fait concordants avec l'opinion que nous venons d'émettre; les voici :

« En 1848, au mois d'octobre, un des hauts fourneaux de « l'usine de l'Horme (Loire), marchait avec un lit de fusion « dont le dosage répondait à un laitier composé de :

		Oxygène calculé.	Formule.
Silice. . . .	41,50	31,559	B^5S^6.
Alumine . . .	10,00		
Chaux. . . .	48,50	18,292	
	100,00		

« Le vent était introduit à 280 ou 300°C. La pression était » de 0m.07 de mercure, avec un diamètre de buses de 0m.07.

» Dans ces conditions, la fonte obtenue était de première » qualité pour moulage; elle était chaude, coulante et peu gra-

En un mot, si c'est à la nature des matières premières qu'on doit surtout la *constance* et l'*homogénéité* des fontes écossaises, c'est en partie aux procédés de fabrication qu'il faut attribuer *leur fusibilité*, *leur mollesse* et *leur faible ténacité* (1).

» phiteuse. Elle présentait une grande ténacité, des grains » brillants et fins; elle était enfin très-dure.

» En décembre de la même année, des raisons d'économie » obligèrent à modifier la charge et à y introduire une pro- » portion plus élevée d'un minerai, tenant jusqu'à 36 p. 100 » de sable quartzeux, ce qui conduisait à un laitier beaucoup » plus acide et composé comme suit :

		Oxygène calculé.	Formule.
Silice. . . .	50,00	25,975	B^6S^9.
Alumine . . .	10,00	15,905	
Chaux. . . .	40,00		

» Les autres circonstances de roulement étant demeurées » les mêmes, la fonte obtenue avec ce lit de fusion et ce lai- » tier, perdit la plupart des qualités qu'elle présentait avec » les premiers. Elle était encore chaude, très-fluide et apte » au moulage de poteries très minces; ces pièces, au démou- » lage, avaient une surface très-mince, un son mat; le moindre » choc les brisait et la cassure était brillante, sans grains, » unie comme de la porcelaine; il n'y avait pas trace de » graphite.

« Ce produit était plutôt un siliciure qu'un carbure de fer, » car il donnait à l'analyse des doses de silicium variant entre » 7 et 9 p. 100.

» Une de ses propriétés les plus remarquables était *sa mol- » lesse; il se laissait entamer au couteau.* Comme fonte de » moulage, c'était un produit détestable; les fondeurs lui » avaient donné le nom de *fonte brillante*, et ils savaient très- » bien que, pour empêcher sa production, il suffisait d'aug- » menter dans les lits de fusion, la dose de castine. »

Tout en remarquant l'absence de graphite, M. Janoyer ne dit pas les proportions de carbone total contenu dans ce produit; il est probable qu'elle était assez faible et que sa composition rappelait, par suite, celle des échantillons nos 19 et 20.

(1) Nous avons cru bon de présenter ces observations; elles effaceront peut-être une croyance encore trop répandue, à savoir que les minerais d'Écosse sont généralement incapables de donner des fontes fortes de moulage, comparables à celles

Raisons de la faible influence du soufre sur les qualités des bonnes marques d'Écosse.

Influence du manganèse sur la fluidité et sur la ténacité de ces produits.

Parmi les éléments dont la présence est à craindre dans les matières premières, le soufre est certainement le plus nuisible à la fluidité des fontes de moulage : or il existe en assez fortes doses dans les minerais et combustibles d'Écosse, pour qu'on dût s'attendre à le retrouver plus abondant dans les fontes. Mais nous avons déjà montré, au sujet des analyses de laitiers et de fontes, l'influence épurante qu'à cet égard il faut attribuer à la nature basique de ceux-là et à leur contenu élevé en manganèse.

Nous avons dit que *la ténacité* était la moindre des qualités demandées aux fontes écossaises. Nous ajouterons cependant qu'à cet égard encore les produits des diverses fonderies ne sont pas égaux, surtout après une deuxième fusion. Or depuis les recherches et les études qui ont été entreprises récemment sur les réactions de l'affinage des fontes, notamment par chacun de nous (1), on sait que, pendant la fusion même, le silicium dispa-

qui ont fait la réputation de quelques hauts fourneaux d'Angleterre. Après ce qui précède, nous inclinons beaucoup à croire qu'avec une allure moins chaude, avec de l'air froid, en particulier, les minerais d'Écosse donneraient, pour la plupart, d'aussi bonnes fontes que les carbonates argileux ou claybands de *Galles*, *Staffordshire* et *Yorkshire*, peut-être tout aussi généralement phosphoreux que les premiers.

Au reste, indépendamment des exemples que nous trouverions à l'appui de cette opinion, dans quelques usines galloises usant de blackbands semblables aux Ecossais, nous pourrions citer la fonderie de *Carron* (*Stirlingshire*). Cet établissement fabriquait autrefois des fontes à canon très-réputées, avec les matières premières qu'on y applique aujourd'hui à la préparation de fontes douces de moulage, deuxième fusion, moyennes marques commerciales.

(1) Réactions de l'affinage des fontes pour acier ou pour fer, par M. Lan. — Annales des mines, 5e série, t. XV, p. 85. — Notes diverses concernant l'acier puddlé et l'acier de forges, par M. Gruner, id., p. 291.

raît, et d'autant mieux qu'il y a plus de manganèse dans la fonte : on peut en dire autant du phosphore. D'après cela, il nous semble que les meilleures marques d'Écosse pourraient bien tenir leur haut rang d'une certaine dose de manganèse capable de réagir en bien sur la ténacité du produit refondu ; avantage classé au second rang peut-être, mais qui n'en est pas moins important quand les fontes d'Écosse entrent dans les moulages mécaniques.

Maintenant est-il besoin, avant de conclure, de répéter que de trop fortes doses de pyrites, une moindre proportion de manganèse, plus d'acide phosphorique ou de gangue siliceuse dans les minerais conduiraient nécessairement à des fontes peut-être toujours *très-fusibles* et *très-molles*, mais d'une fluidité moins parfaite et en même temps d'une ténacité insuffisante même pour les moulages les plus communs? L'exemple des analyses 19 et 20 et la note de M. Janoyer le prouvent surabondamment quant à l'influence d'un excès de silice dans les minerais.

En résumé :

C'est à leurs matières premières, c'est-à-dire : 1° à des minerais de teneur élevée et manganésifères, de composition excessivement régulière, d'une parfaite réductibilité ; 2° à des combustibles durs, solides au feu, relativement propres et constants, que les bonnes fonderies d'Écosse doivent la production de fontes douces de deuxième fusion, homogènes et toujours semblables à elles-mêmes.

La fluidité de ces fontes à la coulée tient certainement encore pour beaucoup à la nature des matières premières, mais déjà, en partie aussi, au mode de roulement des hauts fourneaux.

La fusibilité, la mollesse et surtout la faible ténacité

des produits écossais nous semblent, au contraire en grande partie, attribuables aux procédés bien plutôt qu'à la nature des matières premières.

Infériorité des houilles d'Écosse comme charbons crus de haut fourneau.

II. *Consommations de matières, main-d'œuvre, frais généraux et divers.* — Si le minerai d'Écosse est généralement *riche, réductible et fusible*, si la houille de quelques couches est assez propre, dure et solide au feu, il faut rappeler d'abord qu'il n'en est pas de même de tous les charbons de cette contrée. Ils présentent d'ailleurs tous, au point de vue de leur emploi dans les hauts fourneaux, une cause d'infériorité contre laquelle on a eu à lutter longtemps : nous voulons parler de leur teneur élevée en matières volatiles. Il ne faut pas perdre de vue ce caractère des charbons d'Écosse, quand il s'agit d'apprécier les consommations en combustible et surtout les comparer à celle de districts comme le pays de Galles qui dispose de houilles denses et riches en carbone.

Le faible rendement des houilles d'Écosse en coke et d'un coke trop léger pour hauts fourneaux entraînait, avant leur emploi à l'état cru, une consommation élevée dont l'excès provenait surtout *des pertes directes de la carbonisation.*

Ces conditions, propres à la période antérieure à 1830, étaient peut-être aggravées encore par l'emploi de minerais moins riches que le *blackband*, la couche dite *mushet-blackband* étant connue, mais peu exploitée encore : on regardait ce minerai comme trop riche pour faire la base exclusive d'un roulement régulier en fonte douce.

L'air chaud, appliqué d'abord aux hauts fourneaux au coke, en concentrant la chaleur dans les régions inférieures, en diminuant la hauteur de la zone oxy-

dante, permit non-seulement une production plus régulière de fontes nos 1 et 2, mais encore le traitement de lits de fusion plus riches et contenant, en particulier, des proportions croissantes de *mushet-blackband*.

Emploi de l'air chaud dans les hauts fourneaux au coke (1829-1830).

D'après les auteurs du *Voyage métallurgique en Angleterre*, on serait parvenu, par cette première modification et avec de l'air porté à 141° et à 223° C., à une première réduction de 35 à 40 p. 100 dans la consommation de houille au haut fourneau, en même temps qu'on aurait augmenté la production de 20 à 30 p. 100 environ.

Premiers essais de substitution de la houille au coke. Causes de l'insuccès en Écosse.

Avant l'emploi de l'air chaud on avait, en Écosse, tenté plusieurs fois le roulement à la houille crue, essai qui, déjà en 1830, avait abouti complétement dans le pays de Galles.

Or la différence de nature déjà signalée entre les houilles d'Écosse et de Galles suffit à expliquer que cette modification de procédé devait rencontrer dans le premier district des difficultés inconnues dans le second.

Malgré la facilité du traitement de ses minerais, l'Écosse devait alors trouver, à l'emploi direct de ses houilles gazeuses dans les hauts fourneaux, des difficultés à très-peu près du même ordre que celles rencontrées en France et en Allemagne, de 1835 à 1845, dans les tentatives de substitution au charbon végétal du bois desséché, du charbon roux ou d'autres combustibles plus ou moins préparés.

Succès définitif de la substitution de la houille crue au coke dans les hauts fourneaux écossais.

L'appoint de chaleur apporté dans la zone de fusion par de l'air suffisamment échauffé, en détruisant les effets nuisibles qu'y produisait à l'air froid la descente de fragments de houille incomplétement carbonisés, promettait, au contraire, le succès complet dont fut

couronnée la reprise des essais d'emploi de la houille crue, peu après l'admission définitive de l'air chaud.

En portant la température de l'air à 350°, et en usant de la houille schisteuse (splint coal), on amena la consommation à n'être plus que de 2t,50 à 3 tonnes (y compris le menu des chaudières et appareils à air chaud), au lieu de 7 à 8 tonnes qu'on dépensait à l'air froid ; de plus, la production journalière des hauts fourneaux, qui à l'air froid et au coke était de 5 à 6 tonnes, serait passée, par la substitution du premier procédé au second, à 8 ou 9 tonnes.

Discussion des résultats obtenus en Ecosse par l'emploi simultané de l'air chaud et de la houille crue.

D'après ces chiffres, empruntés au *Voyage métallurgique*, 2e édition, on aurait donc économisé 60 à 70 p. 100 du combustible (houille) autrefois employé et accru la production de 40 à 50 p. 100.

Dans les résultats ainsi estimés en bloc, quelles sont les parts attribuables respectivement à l'emploi de l'air chaud et à la substitution de la houille crue au coke?

Les pertes de la carbonisation étaient de 50 à 60 p. 100 en l'année 1828; mais dans l'emploi d'une houille crue qui, calcinée en petit, ne rend au maximum que 60 p. 100 de coke, le haut fourneau utilise-t-il la totalité des 40 p. 100 de matières volatiles ainsi dégagées par carbonisation à vase clos?

Tout en admettant, à cause surtout de l'extrême réductibilité du minerai, que les dernières parties gazeuses dégagées par la houille dans les régions les plus chaudes de la cuve, puissent agir comme réducteurs, économisant ainsi une certaine portion de combustible, on peut cependant regarder comme à peu près certain que les 2/3 ou les 3/4 des matières volatiles de la houille crue s'échappent du haut fourneau, sans réagir autrement sur sa marche qu'en lui enlevant du calorique. Il suffit pour s'en convaincre, de voir la flamme abondante et

claire qui brille au-dessus des gueulards d'un haut fourneau alimenté par la houille crue d'Écosse. On doit donc continuer à perdre au moins 25 à 30 sur les 40 p. 100 de matières volatiles contenues dans ces houilles, les 10 à 15 centièmes complémentaires constituant une première économie attribuable à la substitution de la houille au coke. A ces premiers 10 ou 15 p. 100 s'ajouteraient ensuite autres 10 à 15 pour différence de rendement entre l'ancienne carbonisation en grand et la carbonisation à l'intérieur du haut fourneau, qui équivaut à une calcination en petit et à vase clos.

En somme, l'économie totale due à la substitution de la houille au coke serait donc, *et c'est un grand maximum*, de 20 à 30 p. 100. Il resterait ainsi 40 p. 100 *au moins attribuable au seul emploi de l'air chaud.* En comparant d'ailleurs les renseignements contenus dans le *Voyage métallurgique* sur les roulements à l'air chauffé à différents degrés, on voit que sur ces 40 p. 100 d'économie 35 environ auraient été obtenus par chauffage à 250°, le surplus correspondant au surchauffement de 250 à 300°.

Or nulle part ailleurs qu'en Écosse l'application de l'air chaud n'a été suivie de résultats aussi brillants comme économie de combustible; au charbon de bois comme au coke, l'économie s'est tenue entre 12 et 25 p. 100 sur le continent comme dans les autres districts du Royaume-Uni.

Il est vrai que soit par crainte d'altérer des fontes provenant de minerais plus siliceux et moins faciles à traiter, soit par le fait de destinations différentes réclamant dans les produits des qualités et notamment une ténacité supérieures à celles que comportent les fontes d'Écosse, nulle part on n'a chauffé l'air aussi fortement que dans cette dernière contrée. Cependant,

même avec de l'air chauffé à 350 ou 400°, on a peine à s'expliquer par les théories aujourd'hui généralement admises de *Berthier*, *Ebelmen*, *Schereer*, etc., sur l'emploi de l'air chaud, on à peine à s'expliquer une différence de consommation de 40 p. 100 et même plus, entre les roulements à l'air froid et à l'air chaud.

Une bonne partie des effets attribués d'abord à l'air chaud est due à l'agrandissement des dimensions de hauts fourneaux.

Frappés de l'invraisemblance de ce chiffre, nous avons examiné et rapproché les deux parties du *Voyage métallurgique* qui traitent de la fabrication de la fonte en Écosse en 1828 et en 1833. Nous avons ainsi reconnu que les auteurs de cet ouvrage, préoccupés sans doute comme les fondeurs écossais eux-mêmes de l'importance de la nouvelle découverte, ont passé involontairement sous silence une modification du profil des hauts fourneaux susceptible de produire une bonne partie des effets attribués en bloc à l'air chaud : nous voulons parler de l'agrandissement des hauts fourneaux et, en particulier, de l'élargissement de la cuve et du gueulard.

La chose vaut la peine d'être démontrée ; voici les faits.

En décrivant les hauts fourneaux d'Écosse en 1828 et après avoir donné l'ancien profil, que nous avons rapporté nous-même sous la date 1825, à notre tableau de dimensions des hauts fourneaux d'Écosse (page 137), les auteurs du *Voyage métallurgique* ajoutent :

« *Ce fourneau est assez petit ; ceux que l'on construit* « *aujourd'hui* (1828) *ont des dimensions beaucoup plus* « *considérables.* » (Voyez les *fig.* 2, 3, 4, 5 de l'atlas du *Voyage métallurgique*, 2e édition ; voyez aussi à la date 1833, notre tableau des dimensions, page 137.)

Les auteurs continuent :

« *On compte bâtir un second fourneau de dimensions* « *encore plus considérables.* »

Enfin, après avoir cité, quelques pages plus loin, le haut fourneau, *fig.* 7 de leur atlas, ils disent encore :

« *On construit un nouveau fourneau* (fig. 8) *de di-*
« *mensions beaucoup plus grandes..... On adopte, en*
« *outre, la forme qui paraît s'introduire maintenant*
« *dans le pays de Galles et qui consiste à supprimer l'ou-*
« *vrage.* »

Il est bien évident, d'après cela, que 1828 est une période de transformation du profil dans la voie de l'agrandissement des dimensions transversales de la cuve ; et, circonstance importante à noter, les auteurs du *Voyage métallurgique* le disent eux-mêmes, *l'Écosse entre dans cette voie par imitation de ce qui se fait déjà dans le pays de Galles.*

Or M. Truran, auteur déjà cité, rapporte qu'en 1831, les seules modifications de profils dont il vient d'être question permettaient aux hauts fourneaux de Dowlais (pays de Galles) de produire *à l'air froid et à la houille* la tonne de fonte de fonderie avec les consommations suivantes :

	tonnes.	quint.
Houille directement chargée au haut fourneau. .	2	10
Houille de machine soufflante.	0	10

Total 3 tonnes, au lieu de 7 ou 8 consommés dans les anciens petits hauts fourneaux au coke.

Nous ne voulons pas suivre davantage M. Truran dans la comparaison qu'il fait des roulements écossais et gallois ; il nous paraît aller beaucoup trop loin en niant presque l'économie de l'emploi de l'air chaud, parce qu'il ne tient pas assez compte des différences de composition qui distinguent les houilles des deux contrées (1). Mais les résultats que nous venons de citer

(1) Dans tout ceci, nous supposons toujours que, comme dans toutes les fonderies écossaises, l'air a dû être chauffé par des foyers spéciaux, ainsi que les chaudières de soufflerie elles-mêmes. En ce cas, la possibilité de ne consommer dans ces foyers que du menu, au lieu du gros qu'on chargeait au haut fourneau pour y produire la chaleur apportée aujourd'hui par l'air, constitue déjà une économie évidente, moindre toutefois que lorsqu'on applique au chauffage la chaleur perdue du gueulard.

suffisent à montrer combien se réduit la part de l'air chaud dans les 40 p. 100 d'économie observée en Écosse si, comme nous allons achever de le démontrer, les auteurs du *Voyage métallurgique* ont négligé l'influence du changement de profil.

Or des trois usines d'Écosse (la Clyde, Calder, Monkland) qu'ils citent, au sujet de l'expérimentation de l'air chaud, les auteurs du *Voyage métallurgique* ne donnent les profils ou dimensions des hauts fourneaux d'aucune. Ils se bornent à dire au sujet de la Clyde :

« *Les hauts fourneaux de cette usine n'ont subi aucune*
« *modification depuis l'introduction de l'air chaud ; ils*
« *étaient en feu depuis longtemps lors de l'adoption de*
« *la nouvelle méthode : l'un d'eux est en roulement de-*
« *puis sept ans.* » *Depuis longtemps* peut ne pas remonter plus haut que 1828 ou 1829 quand on écrit en 1833 ; de plus, celui en feu depuis sept ans avait certainement dû s'agrandir beaucoup par le simple roulement. Au sujet de l'usine de Calder, ils donnent les roulements du fourneau désigné sous le n° 3 pendant les années 1829, 1831, 1833 ; mais est-il sûr que le profil n'ait pas changé ? Les auteurs n'en disent rien.

D'un autre côté, dans la partie de leur ouvrage relative à l'année 1828, tout ce qu'ils disent des dimensions ou profils d'Écosse se rapporte évidemment aux mêmes usines, puisqu'ils n'en citent que trois comme

les ayant visitées, et toutes trois auprès de Glasgow ; deux de ces usines avaient respectivement, à cette première date, trois et quatre hauts fourneaux. *Calder* et la *Clyde* étaient, en 1828, les seules fonderies, aux environs de Glasgow, qui eussent cette consistance. C'est donc dans les mêmes usines que les auteurs du *Voyage métallurgique* ont vu, en 1828, construire des hauts fourneaux agrandis et en 1833 rouler à l'air chaud ; ajoutons d'ailleurs que la consistance ou le nombre des hauts fourneaux étaient restés les mêmes en 1833 qu'en 1828. Or les hauts fourneaux à grandes cuves dont la construction était commencée en 1828 pouvaient ne pas fonctionner encore en 1829, mais à coup sûr ils étaient en roulement en 1833.

Véritable proportion de l'économie de combustible attribuable à l'emploi de l'air chaud.

Il nous paraît résulter clairement de ces divers rapprochements, sinon la certitude absolue, au moins la très-forte présomption que l'attribution exclusive à l'air chaud des 40 p. 100 d'économie de combustible en question a été faite à tort et par omission de ce qui devait appartenir là-dessus aux agrandissements apportés à la cuve dès 1828 et à l'accroissement proportionnel du soufflage. En répartissant par moitié l'économie totale de 40 p. 100 entre les deux modifications, la part de l'air chaud se réduirait à 20 p. 100, c'est à-dire deviendrait plus comparable à ce qui a été obtenu ailleurs de l'introduction de ce procédé dans les hauts fourneaux au coke (1).

(1) Ceci était écrit, quand l'un de nous eut l'occasion de recueillir, sur les hauts fourneaux au charbon de bois, des renseignements tout à fait d'accord avec cette opinion, auprès de M. Bordet, gérant des forges et fonderies de *Châtillon* et *Commentry*. Nous laissons parler M. Bordet :

« C'est en 1840 et 1841 que les premiers essais d'application » de l'air chaud eurent lieu dans les hauts fourneaux au charbon de bois du Châtillonnais. L'économie de combustible » s'éleva à 10 p. 100 environ, c'est-à-dire que la comsommation descendit de 6^{mc},65 ou 6^{mc},70 à 6^{mc} ou 6^{mc},10 ; les fourneaux avaient 9 à 10^{m} de hauteur, o^{m},80 de gueulard, 2^{m},30 de ventre, o^{m},45 au niveau des tuyères et presque pas d'ouvrage.

» En 1844, on modifia le profil du haut fourneau en rétrécissant l'ouvrage sur o^{m},80 au-dessus du niveau des tuyères ; mais cette modification ne fut pas heureuse ; les fourneaux ainsi modifiés, donnaient beaucoup plus de fonte noire que de fonte blanche, seule fonte recherchée par les feux d'affinerie ou par les puddleurs du pays. Ce n'était qu'au bout de quatre ou cinq mois de marche, que les fourneaux, finissant par s'agrandir, prenaient enfin une allure régulière. On revint donc à la première forme en 1847 et 1848.

» En 1851, après avoir constaté les bons effets des grands gueulards et des grandes cuves, dans les hauts fourneaux au coke de Commentry et Montluçon, je songeai à profiter de ces avantages dans la fusion au charbon de bois. Je fis donc porter le gueulard de quelques-uns de nos hauts fourneaux du Châtillonnais de o^{m},80 à 1^{m},40 de diamètre, sans modifier d'ailleurs aucune des autres dimensions.

» Les fourneaux à cuves ainsi agrandies, donnèrent tous de bons résultats ; la production mensuelle s'y éleva de 100 à 110, 120 et même, dans l'un d'eux, elle atteignit 145 tonnes de 1.000 kil. l'économie de combustible fut à peu près égale à celle obtenue d'abord par l'application de l'air chaud, c'est-à-dire de 10 p. 100 ; elle fut même un peu plus considérable dans deux des hauts fourneaux soumis à l'essai, ce qui s'explique il est vrai, par une teneur un plus peu élevée des lits de fusion qu'ils élaboraient.

» J'ajouterai une remarque qui a son importance au sujet de l'agrandissement du gueulard et de la cuve. Dans les premiers temps de leur roulement, les fourneaux ainsi agrandis furent tous sujets à de fréquentes explosions. J'attribuai cet effet à ce qu'on avait conservé le volume des charges de l'ancien profil, volume qui n'était que de deux tiers de mètre cube. Les minerais pulvérulents de la Bourgogne tamisaient trop faiblement à travers une aussi faible couche de charbon et produisaient les accidents signalés. En doublant le volume des charges, on évite tout inconvénient de cette nature. »

Nous n'avons parlé, dans tout ce qui précède, que de l'économie de combustible attribuée en 1833 à l'appli-

cation de l'air chaud ; mais un autre effet de cette application, qu'on nous paraît avoir exagéré beaucoup aussi, c'est l'accroissement de la production. Nous avons vu que les documents insérés dans le *Voyage métallurgique* fixent à près de 50 p. 100, ou au moins à 40, l'augmentation de la production hebdomadaire ou journalière réalisée par la substitution de la houille crue et de l'air chaud au coke et à l'air froid. En considérant que la substitution de la houille au coke, tout en produisant une certaine économie de combustible, n'a pas pu réagir bien notablement sur la production, on voit que l'accroissement de production de 40 à 50 p. 100 serait presque exclusivement dû à l'air chaud.

Or non-seulement nous ne connaissons pas d'autres exemples de pareils résultats, mais encore à quelque point de vue qu'on l'envisage, il est difficile d'apercevoir dans le chauffage de l'air une raison quelconque par laquelle expliquer de semblables chiffres. Pour nous, cet accroissement de production nous paraît bien plutôt l'effet et la preuve en même temps de l'agrandissement de la cuve des hauts fourneaux. *Cet agrandissement et le soufflage plus énergique ayant coïncidé avec l'application de l'air chaud, leurs effets ont passé inaperçus au profit de la seconde innovation.*

État des procédés de fabrication écossais en 1833, au point de vue des consommations et produits.

Quoi qu'il en soit de la manière dont il faut entendre l'économie de combustible réalisée en Écosse de 1830 à 1835, il n'en est pas moins constant, par ce qui précède, qu'en 1833, les hauts fourneaux de ce district, à sections de cuve et de gueulard agrandies, produisaient, par vingt-quatre heures, 8 à 10 tonnes (de 1.015 kil.) de fonte douce de fonderie avec une consommation de 2 tonnes à 2t,40 de grosse houille de haut fourneau et 0t,95 de menues de chaudières et appareils à air chaud.

Si, arrivant aux périodes plus récentes, nous comparons les roulements actuels à ceux de 1833, nous constaterons tout de suite un résultat fort remarquable et bien propre à préciser ce qu'on peut et doit attendre des immenses hauts fourneaux construits dans ces derniers temps.

Ce qui a été fait depuis 1833.

La consommation directe de combustible dans les hauts fourneaux n'a pas ou presque pas varié depuis 1833 ; la dépense en houille menue de chaudière et appareils à air chaud s'est seule réduite de 50 p. 100 environ, et ce, sous l'influence d'un établissement mieux raisonné des appareils à air chaud et des chaudières, moteurs et soufflerie.

Pas d'économie de combustible depuis 1833.

Les minerais et combustibles n'ont pas d'ailleurs notablement varié dans les usines auxquelles se rapportent nos chiffres.

Que conclure de là, sinon que les agrandissements considérables, *surtout vers le bas*, qu'ont reçus les hauts fourneaux depuis vingt-cinq ans, n'ont pas produit d'économie de combustible appréciable? Tout leur avantage réside dans une production beaucoup plus élevée, et qui, dans ses divers accroissements, est d'ailleurs toujours restée proportionnelle aux quantités de vent lancé dans ces énormes fournaises et aux capacités de celles-ci.

Mais si la consommation de houille ne paraît pas avoir notablement varié quand on la rapporte à la tonne de fonte, on trouve au contraire qu'elle a augmenté un peu par tonne de matière liquide (fonte et laitier). Tandis qu'on ne consommait en 1833 que 1 tonne de houille par tonne de matière liquide, on en consomme généralement de 1t,12 à 1t,30 aujourd'hui, avec des minerais cependant plus riches. Nous n'avons trouvé qu'un seul roulement qui accuse une consommation

comparable à celle de 1833 : or, chose digne de remarque, cet exemple se rapporte à celui des hauts fourneaux dont l'ouvrage a été le moins élargi; le profil de ce haut fourneau n'a en effet que 6 pieds (1m,824) au lieu de 7 et 8 pieds (2m,12 à 2m,44) que présentent les autres au niveau des tuyères. Ce haut fourneau est en même temps celui qui a le moindre nombre de tuyères.

Influence des accroissements exagérés des dimensions transversales de l'ouvrage et de creuset.

Ainsi donc les accroissements exagérés des dimensions transvervales *inférieures* des hauts fourneaux, auxquels nous avons déjà dit qu'il fallait attribuer les *moindres proportions de fontes* nos 1 *et* 2 obtenues dans la période 1850-1858, ont encore incontestablement augmenté plutôt que réduit la consommation de combustible.

Il est aisé de comprendre, en effet, que la régularité de l'allure trouve son principal obstacle dans les dimensions énormes données au diamètre ou au côté de l'ouvrage, malgré la multiplication du nombre des tuyères.

Indépendamment des soins extraordinaires qu'entraîne l'entretien de ces nombreuses tuyères, il est difficile, même avec une forte pression, de faire pénétrer l'air sur toute une largeur de 2 mètres à 2m,50 : la moindre obstruction sur un point de l'ouvrage dévie le courant d'air, porte le feu tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, ce qui se traduit presque immédiatement par la production de fontes nos 3 et 4. L'air chaud et même très-chaud n'est plus alors un remède suffisant contre ces causes d'irrégularité; la combustion se produit très-intense à faible distance de l'œil des buses; tandis que le centre est froid, le feu est fréquent sur les parois, et il faut recourir souvent aux aspersions d'eau contre l'enveloppe extérieure de l'ouvrage.

Si nous rappelons d'ailleurs que les minerais d'Écosse sont exceptionnellement riches, fusibles et réductibles, on reconnaîtra combien les grandes dimensions d'ouvrages seraient encore plus désastreuses avec les minerais généralement plus pauvres et plus réfractaires du continent.

Que si, enfin, on comparait les quantités de matières liquides et même la production obtenues, par tonne de houille et par jour, des grands ouvrages écossais et de minerais exceptionnellement faciles, avec celles qu'on obtient, notamment dans quelques hauts fourneaux français, de creusets moins vastes et de minerais moins avantageux, on serait frappé de l'infériorité des profils écossais à cet égard.

Les hauts fourneaux d'Écosse gagneraient à être rétrécis par le bas.

On demeurera convaincu, comme nous, qu'autant est recommandable un profil où le diamètre de l'ouvrage étant fixé entre 1m,50 et 1m,80 par la nature plus ou moins réfractaire des minerais, on agrandit ensuite au maximum possible la capacité de la cuve, autant sera généralement mauvais un tracé qui accroît la capacité du haut fourneau, comme les fonderies écossaises, par l'augmentation presque exclusive du côté ou du diamètre de l'ouvrage. En modifiant leurs profils dans le sens que nous indiquons, il nous paraît évident que les fondeurs d'Écosse produiraient tout autant d'ailleurs, sinon plus qu'aujourd'hui, mais avec une moindre dépense en combustible; les charges mieux préparées pourraient, avec le même soufflage qu'aujourd'hui, passer plus vite; l'exemple *d* de notre tableau de roulement le prouve surabondamment.

L'utilisation des gaz du gueulard est certainement aussi facile en Écosse

L'utilisation des gaz et flammes du gueulard est peu répandue en Écosse, malgré la richesse probable de ces gaz en principes combustibles. Nous avons entendu motiver l'abandon de ce procédé parce que les hauts

qu'ailleurs : l'insuccès qu'on y a rencontré à cet égard tient à de mauvaises dispositions des prises de gaz.

fourneaux écossais disposent généralement de menus à bas prix dont ils ne trouvent l'emploi que dans les foyers de chaudières et d'appareils à air chaud. On prétend ensuite que les prises de gaz gênent le roulement de ces grands hauts fourneaux ; les tentatives faites dans certaines usines, de 1850 à 1855, ont établi la croyance bien arrêtée que les gaz ne peuvent être soustraits, même à une profondeur de 1 mètre à $1^{m},50$, sans réduire la production de 20 à 25 p. 100 et sans augmenter la consommation de combustible de $0^{t},25$ à $0^{t},30$ par tonne de fonte.

Nous avons dit en effet, dans un autre chapitre, que les grands hauts fourneaux et surtout les grands gueulards comportent quelques difficultés dans la prise des gaz; mais nous avons montré aussi que ces difficultés sont loin d'être insurmontables. Or, en Écosse, aucune des installations propres à vaincre ces difficultés n'a été adoptée jusqu'ici ; des prises de gaz sans trémies, sans même une fermeture complète du gueulard, sans chargement mécanique enfin, devaient conduire aux résultats qu'on a observés dans les tentatives que nous rappelons.

Reprendra-t-on les essais par des procédés plus parfaits dont on trouverait les modèles dans le pays de Galles lui-même? On peut en douter tant qu'en effet le menu des houillères appartenant aux fonderies mêmes n'aura pas un écoulement commercial qui en élève le prix.

Conclusions sur le travail des hauts fourneaux écossais au point de vue des produits et consommations.

En résumant ce qui précède sur les procédés de fabrication écossais, considérés au point de vue des produits et consommations, on voit que :

1° *Les progrès, depuis* 1833, *ont été fort peu considérables dans ce district, au moins en ce qui regarde l'économie de combustible.*

2° *Déjà, à cette date, le succès définitif de l'air chaud et du roulement à la houille étaient acquis : à cette époque aussi, les profils avaient été modifiés en vue de l'accroissement de la capacité de la cuve, par de plus grands diamètres du gueulard et du ventre; mais les bons effets de ces modifications avaient passé inaperçus, demeurant confondus avec ceux attribués à l'air chaud.*

3° *De* 1845 *à* 1850 *et surtout de* 1850 *à* 1858. *les hauts fourneaux ont été de nouveau agrandis, notamment par la hauteur et par les dimensions transversales des parties basses. De là n'est résultée aucune économie de combustible, mais plutôt un accroissement de consommation; la production journalière a augmenté, mais un peu aux dépens de la qualité des fontes, la proportion des n^os 1 et 2 ayant certainement baissé dans ces derniers temps. Tout en réduisant les frais de main-d'œuvre et généraux, par les fortes productions qu'ils permettent, ces grands hauts fourneaux ne constituent pas un progrès réel et général, car leurs vastes ouvrages pourraient être désastreux en cas de minerais d'un traitement en fonte de moulage moins facile que les blackbands grillés écossais.*

4° *Les procédés d'utilisation des gaz de hauts fourneaux, malgré leur richesse évidente en principes combustibles, n'ont pas été et ne seront sans doute pas de longtemps appliqués généralement en Écosse.*

CHAPITRE VIII.

PARTIE ÉCONOMIQUE.

§ 1. *Importance et développements successifs de la production de la fonte en Écosse.*

Pour donner une idée des développements successifs de la fabrication de la fonte en Écosse, nous rapporterons d'abord le tableau suivant :

Périodes.	ANNÉES.	NOMBRE de hauts fourneaux en feu.	NOMBRE de hauts fourneaux en chômage	PRODUCTIONS annuelles en milliers de tonnes anglaises (1.015 kil.)	PRODUCTIONS hebdomadaires par haut fourneau en tonnes de 1.015 kil
		En tout :			
1re	1806	28		Inconnu.	»
	1320-23	22	»	20	17 à 18 (*a*)
	1827	18	6 ou 7	36,50	39 à 40
2e	1830	27		45 à 50	» »
	1833	25	2	55,50	42 à 43
	1839	54	»	196,56	70
	1840	64		241	72
	1845	94	»	500	102
3e	1846	97	25	520	106
	1847	89	43	500	108
	1348	103	36	590	110
	1849	113	31	690	117
	1550	118	»	630	107
	1851	105	»	770	141
	1852	114	»	780	129
	1853	113	»	700	119
	1854	114	»	754	127
4e	1855	115	»	820	137
	1856	121	»	820	130
	1857	124	»	920	142
	1858	123	»	980	153
	1859	124	50	960	149

(*a*) Il ne faut pas perdre de vue que les chiffres de production hebdomadaire des hauts-fourneaux sont des moyennes d'ensemble, mais qu'elles ne donnent pas toujours une idée exacte de la capacité de production des appareils les plus récents dans chaque période. Ainsi, dans la quatrième en particulier, certains hauts fourneaux de nouvelle construction produisent de 200 à 250 tonnes par semaine, tandis que ceux des anciens appareils qui subsistent encore ne donnent guère que 100 à 110 tonnes. Des moyennes hebdomadaires que nous rapportons, il ne résulte pas moins une division assez nette en quatre périodes, comme nous l'avons annoncé précédemment. Dans la dernière période en particulier, on voit surtout l'accroissement qui résulte d'un emploi plus fréquent des hauts fourneaux appartenant au modèle maximum dont il a été question plus haut.

De ce tableau il ressort que c'est surtout à partir de 1840-45 que la fabrication de la fonte en Écosse est entrée dans la voie de développement qui l'a successivement amenée à constituer l'une des industries principales de la Grande-Bretagne.

Les rapides accroissements qu'elle a reçus dans les vingt dernières années ont été provoqués par les demandes croissantes que l'Angleterre et les pays étrangers ont faites de ses produits, nous verrons plus loin dans quelles conditions et circonstances.

Mais avant d'entrer davantage dans le chapitre économique, il n'est pas sans intérêt de remarquer que les progrès et découvertes techniques de la période de 1825 à 1835 ont puissamment contribué à élever la fonderie écossaise au rang industriel où nous la voyons aujourd'hui.

Avec les petits hauts fourneaux au coke et à l'air froid, avec des houilles comme celles dont elle disposait, avec des minerais de teneur médiocre, l'Écosse fabriquait, jusque vers 1830, plus chèrement que la plupart des autres districts du Royaume-Uni ; elle demeurait donc incapable d'entrer largement dans le mouvement industriel qui débutait alors.

La découverte de l'air chaud, l'agrandissement des hauts fourneaux, la substitution de la houille crue au coke, l'emploi de plus en plus général de minerais riches et notamment de mushet-blackband, jusque-là un peu négligé, voilà autant de perfectionnements tous acquis de 1830 à 1835 qui, réduisant les prix de revient de l'Écosse de 50 à 70 p. 100 (1), plaçaient désormais ce district dans des conditions de fabrication égales ou

(1) Voyez le premier volume, 2e édition du *Voyage métallurgique*, pages 390 et suivantes.

supérieures à celles des autres parties de la Grande-Bretagne. Il ne lui restait plus qu'à savoir développer ses débouchés et à profiter des circonstances géographiques des plus heureuses. Nous verrons bientôt ce que l'Écosse a fait à cet égard.

§ 2. *Prix des matières premières.*

I. *Variations du taux des salaires.* — Les prix des matières premières sont très-étroitement liés à celui de la main-d'œuvre et particulièrement au coût de la journée des ouvriers de mines (collieries et miners) : les fluctuations de ce dernier élément sont donc importantes à connaître (1). Nous les avons consignés, pour la période 1848-1859, dans le tableau suivant; nous y avons rapporté, en même temps, les prix des fontes avec lesquels les taux des salaires sont en relation directe.

Années.....	1848	1849	1850	1851	1852	1853	1854	1855	1856	1857	1858	1859
Journée moyenne des mineurs en shillings et deniers.....	2,7	2,6	2,9	2,6	2,7	3,3	5,0	4,4	4,3	4,0	3,0	3,3
Prix des 1.015 kilogr. de fonte en shillings et deniers.....	44,4	45,6	44,6	40,0	45,2	61,5	79,9	70,9	70,0	69,2	54,5	61,11

On voit, par ces chiffres, que le taux de la journée dépend, avant tout, du prix commercial de la fonte.

Cependant il n'y a pas toujours une proportionnalité parfaite entre les variations de ces deux éléments. On trouve, par exemple, que pour les années 1852 et

(1) On estime, en Écosse, qu'une simple augmentation de 6 deniers (0f,63) par journée de mineur produit un accroissement de 3 à 4 sh. (3f,78 à 5f,14), sur le prix de revient de la tonne de fonte.

1859 les prix de fontes ne diffèrent que de 16 p. 100 du prix de 1852, tandis que le coût de la journée s'est élevé de 25 p. 100 d'une année à l'autre.

Ce défaut de proportionnalité trouve son explication dans les chiffres de production : en effet, de 1852 à 1859, la production, déjà très-forte au début de cette période, s'est encore élevée très-rapidement, surtout vers sa fin, de manière à être en 1859 de 24 p. 100 plus forte qu'en 1852.

Cet accroissement rapide de la production à un moment où la tendance à l'émigration devenait plus marquée devait, malgré la baisse des prix de fontes, s'opposer à une diminution proportionnelle de la main-d'œuvre. De plus, dans une contrée qui reçoit du dehors la plus grande partie de ses approvisionnements alimentaires, un pareil accroissement d'activité industrielle devait se traduire par une hausse correspondante du prix des denrées, circonstance également défavorable à une réduction des salaires.

Ce dernier point est mis en évidence par le tableau suivant où nous groupons les consommations alimentaires, faites en une semaine par une famille ouvrière composée de cinq personnes, en même temps que les prix de ces consommations en 1852 et en 1859.

NATURE des consommations.	Quotité des consommations en liv. anglaises.	COUT EN SHILLINGS et deniers en 1852.	COUT EN SHILLINGS et deniers en 1859.	OBSERVATIONS.
		sch. d.	sch. d.	Ces renseignements sont extraits des livres d'un magasin tenu dans l'un des établissements les plus importants du Lanarkshire, et qui livre toutes ces denrées aux ouvriers, en concurrence avec les marchands ordinaires. Les propriétaires de cet établissement ont cherché dans cette combinaison, adoptée d'ailleurs dans plusieurs autres districts du Royaume-Uni, un moyen de modérer et de régulariser les prix du commerce ordinaire où les ouvriers conservent toute liberté de s'approvisionner.
Farine d'avoine. .	14	1 7	2 1	
Farine de blé. . .	7	0 9 1/2	1 0	
Orge.	2	0 3	0 4	
Sucre.	1	0 5	0 6	
Thé.	1/8	0 7	0 6	
Fromage.	2	0 10	1 4	
Beurre.	1	0 11 1/2	1 2	
Jambon.	4	2 2	2 10	
Pain.	12	1 4 1/2	1 6	
Œuf.	2	0 10	1 2	
Pommes de terre.	14	0 4	0 7 1/2	
Savon.	1 1/4	0 6 1/2	0 6 1/4	
Totaux. . . .	»	10 7 3/4	13 6 3/4	

Le coût de la vie matérielle se serait donc accru de 28 p. 100 de 1852 à 1859, c'est-à-dire qu'il se serait élevé plus rapidement que le taux des salaires, et qu'en recevant aujourd'hui 3 sh. 3 d. les ouvriers sont moins aisés qu'avec 2 sh. 7 d. en 1852.

L'influence du coût de la vie matérielle devient encore bien plus prédominante par les temps de disette, si nous en jugeons par ce qui se passe en ce moment (octobre et novembre 1860) : sous la seule influence de la mauvaise récolte de cette année, la production étant assez languissante, les prix de fontes oscillant entre les limites très-basses de 50 à 52 shillings, les fondeurs ont relevé les gages des ouvriers de mines de 3 sh. 3 d. à 4 sh. 3 d. et 4 sh. 6 d.

II. *Prix de la houille.* — Rappelons d'abord que, dans tout ce qui va suivre, quand nous parlons de prix des matières premières, il s'agit de prix de revient. Les établissements de hauts fourneaux écossais, ayant leurs houillères et mines de fer, ne prélèvent aucun bénéfice sur les matières brutes, la vente seule du produit définitif donnant lieu à une supputation de produit net (1).

Les conditions d'exploitation de la houille étant demeurées jusqu'ici assez constantes, les seules différences qu'on observe entre les prix des diverses époques tiennent exclusivement aux variations du taux des salaires.

En 1828 *et* 1833, les auteurs du *Voyage métallurgique* rapportent les prix de 4 sh. 6 d. à 5 shillings par tonne de grosse houille de haut fourneau, et 1 sh. 8 d. la tonne de menu ; le prix de la journée ouvrière était de 3 à 4 shillings.

En 1845, Mr Eckman, dans un mémoire publié par le *Yern-Kontorets-Annaler* de Suède (1848), fixe le prix de la houille à 5 sh. 4 d. ; il ajoute, sans donner de chiffre précis, que le taux de la main-d'œuvre était alors très-bas en Écosse.

En 1854, M. R. Hunt, dans sa statistique industrielle de la Grande-Bretagne, porte le prix de la tonne de grosse houille à 6 shillings et le menu à 2 shillings ; mais alors les prix de la journée ouvrière avaient atteint leur maximum (5 shillings).

Enfin voici le prix de revient moyen d'une année, dans une des exploitations du Lanarkshire les plus favorablement situées : la couche exploitée a de 3 à 5 pieds ($0^m,90$ à $1^m,52$) de puissance ; elle donne 75 p. 100 de gros et 25 p. 100 de menu.

(1) Voici dans quelles conditions les mines, qui exploitent et vendent exclusivement la houille, la livrent au commerce (les prix de revient étant à très-peu près égaux à ceux que nous donnons pour les fonderies) : Grosse houille de Wishaw, 6 sh. 9 d. à 7 5 sh. ; — coke fait avec le menu collant de Kilsyth, 18 à 19 sh. la tonne de 1015 kil., rendue à Glasgow. On estime que défalcation faite des frais de transport, les houillères gagnent au maximun 1 sh. 1/2 ($1^f,89$) par 1015 kil.

La redevance payée au propriétaire du sol ou royalty est encore relativement basse.

Enfin la journée moyenne des mineurs est ressortie à 3 sh. 6 d. dans cette exploitation en particulier,

Par 1.000 kil. :	sh.	d.	
Main-d'œuvre totale (à l'entreprise).	2	0	6/10
Fournitures et réparations.	0	6	»
Royalty	0	6	»
Frais généraux comprenant : Matières diverses; dommages de surface; taxes locales; frais de bureau et appointements à l'année; dépréciations et amortissement des puits.	0	1	5/10
Total.	3	3	5/10

Cette dépense totale, répartie sur 1/4 de menu et 3/4 de gros (celui-ci estimé valoir quatre fois le premier), donne lieu aux prix suivants, comptés sur les livres de fonderie :

Gros, 4 sh. 2^{d} 1/4; menu, 1 sh. 1/2.

Le transport du puits au haut fourneau, par chemin de fer de service appartenant aux exploitants, coûte 5 deniers par tonne; en l'ajoutant aux dépenses précédentes, on trouve pour prix définitifs de la houille rendue au haut fourneau :

4 sh. 7^{d} 1/4 pour 1.015 kil. de gros; 1 sh. 5^{d} 1/2 pour le menu.

Soit pour 1.000 kil. = 5^{f},76 et 1^{f},81.

Ajoutons que ce sont là des prix minima. Dans bon nombre de mines, aux mêmes taux de salaires, le coût de la grosse houille est au moins de 5 shillings et celle du menu 1 sh. 8 d.

A l'avenir, sauf l'augmentation de quelques deniers pour redevance et les fluctuations de la main-d'œuvre, les prix de la houille ne paraissent pas devoir varier beaucoup, au moins de longtemps.

III. *Prix des minerais grillés.* — Les auteurs du *Voyage métallurgique* rapportent que les minerais grillés revenaient en 1829 et en 1853 à 12 shillings la tonne rendue au haut fourneau.

C'est aussi le prix cité pour 1845 par M. Eckmann, dans le mémoire déjà cité.

Par contre, en 1854, M. Hunt le fixe à 20 shillings, dans les conditions de main-d'œuvre déjà indiquées pour la houille.

Voici, enfin, le revient moyen de la tonne de black-band grillé pendant l'année 1859, dans une exploitation du Lanarkshire, ouverte sur une couche de 12 pouces (0^{m},364) de puissance et assez régulière :

	sh.	d.	
Main-d'œuvre, par entreprise.	8	8	25/100
Réparations; voitures et équipages d'exploitation; fournitures et frais d'épuisement.	1	2	»
Frais généraux d'exploitation.	0	3	50/100
Intérêts des capitaux appliqués aux recherches.	0	3	34/100
Royalty	3	0	94/100
Indemnités de surface.	0	1	40/100
Rails et chemins de service.	0	0	90/100
Taxes locales.	0	0	84/100
Dépréciation des puits à minerais.	1	0	5/100
Intérêts et amortissement de la valeur des puits et du stock de minerais grillés ou en grillage.	0	3	52/100
Transport du minerai des puits aux hauts fourneaux	1	9	1/100
Total.	16	9	80/100

par 1015 k.

Soit 20^{f},83 par 1.000 kil.

Avec un taux de main-d'œuvre de 3 shillings à

3 sh. 6 d., une couche de cette puissance et de cette régularité devrait donner lieu à un prix de revient de 13 à 14 shillings tout au plus, puisqu'en payant les ouvriers 5 shillings en 1854, on arrivait, en moyenne, à 20 shillings, sur un ensemble d'exploitations, dont le plus grand nombre était certainement moins bien situé que la mine particulière à laquelle se rapportent les chiffres précédents. L'augmentation de 2 ou 3 shillings vient évidemment des modifications dans les chiffres de redevances et de transports, les premiers s'étant accrus de 1 sh. 6 d. $\frac{94}{100}$ et les seconds de 1 sh. 4 d. $\frac{1}{100}$, depuis 1852.

Nous avons dit ailleurs ce que l'avenir semble réserver, à ce double point de vue, aux fonderies écossaises; nous essayerons de le préciser un peu plus par le tableau suivant, où nous avons mis en regard le passé et le présent d'après des données certaines; pour l'avenir, nous n'avons pu qu'indiquer les limites probables entre lesquelles pourront osciller les divers éléments du prix de revient; nous y admettons des frais un peu plus élevés de main-d'œuvre, pour tenir compte, non de l'élévation possible du taux des salaires, mais des difficultés plus grandes que présentera l'exploitation de couches moins régulières et moins puissantes. Il en résulte que nous laissons de côté, dans ce tableau, les fluctuations de la main-d'œuvre, le prix de revient variant, quant à cette cause, exactement comme par le passé en deçà et au delà des chiffres que nous prévoyons.

ÉLÉMENTS du prix de revient.	PASSÉ d'après les livres de 1852.	PRÉSENT d'après les livres de 1859.	AVENIR (hypothétique).	Observations.
	sh. d.	sh. d.	shillings	
Main-d'œuvre (entreprise).	5 3 87/100(a)	8 8 25/100(b)	9 à 10	(1)
Royalty.	1 6	3 0 94/100	3 à 5	
Transports.	0 5	1 9 1/100	2 à 3	
Frais généraux et divers.	3 à 3 3	3 3 60/100	3 à 4	
Totaux par 1.015 kil. .	10 2 87/100 à 10 5 87/100	16 9 80/100	17 à 22	
Soit par 1.000 kil. et en fr.	12f,32	20f,83	21f,10 à 27f,31	

(1) La comparaison des deux chiffres (a) et (b) montre que déjà, de 1852 à 1859, les difficultés d'exploitation ont augmenté: le taux des salaires ne s'est élevé, en effet, que de 25 p. 100, tandis que le coût de main-d'œuvre par tonne s'est accru de 63 p. 100.

IV. *Prix d'achat des minerais de Cumberland.* — Bien que ces minerais soient encore peu en usage dans les fonderies d'Écosse (quelques hauts fourneaux seulement en consomment aujourd'hui de 1/9 à 1/10 de leur approvisionnement total), nous rapporterons cependant les prix auxquels on peut se les procurer. On jugera par ces prix du peu d'économie que l'Écosse trouverait à substituer ces minerais aux siens.

La tonne d'hématite rouge à 45 ou 50 p. 100 de teneur revient, au haut fourneau, à 18 sh. 8 d. composés comme suit :

	sh.	d.
1. Achat au port d'embarquement à Whitehaven.	11	9
Transport jusque au haut fourneau.	6	11
Total.	18	8

Soit, en francs et par 1000 kil. 25f,16.

V. *Prix de la castine et des briques réfractaires.* — La castine, exploitée à des distances variables de 5 à 30 milles des hauts fourneaux, revient à 3 shillings ou

3 sh. 10 d. la tonne rendue, sur quoi l'on compte 1 shilling à 1 sh. 3 d, de transports.

C'est la matière première qui a le plus baissé de prix, si l'on en juge par les chiffres donnés à cet égard par les auteurs du *Voyage métallurgique* et par M. Eckmann ; les premiers la comptent à 7 shillings en 1833, et le second à 6 sh. 3 d. en 1845 ; enfin M. Hunt donne le prix de 5 shillings en 1854.

Les briques réfractaires sont classées en trois catégories :

1° Briques de hauts fourneaux (formes spéciales) le pied cube ($o^{mc},028$) pris en fabrique . . . . . 1 sh.
2° Briques réfractaires (1re qualité) le mille rendu au haut fourneau 42
3° Briques réfractaires (2e qualité) le mille rendu au haut fourneau. 26

Le prix de l'argile réfractaire ordinaire et brute est de 2 sh. 9 d. la tonne de 1015 kilog. rendue à l'usine.

§ 3. *Prix de revient de la fonte.*

Afin de permettre la comparaison, en dernière analyse, des conditions économiques de la fabrication de la fonte d'Écosse, aux diverses périodes que nous avons considérées, nous donnerons les prix de revient de la tonne de fonte : 1° en 1833, en 1845 et en 1854, d'après les auteurs du *Voyage métallurgique en Angleterre*, et d'après MM *Eckmann* et *Hunt* ; 2° en 1859-60, d'après nos propres renseignements.

ÉLÉMENTS DU PRIX de revient.	1833. 1er exemple. ton. q.	1er exemple. sh. den.	2e exemple. ton. q.	2e exemple. sh. den.	1845. ton. q.	1845. sh. den.	1854. ton. q.	1854. sh. den.	1859-60. ton. q.	1859-60. sh. den.
Matières.										
Minerai grillé.	1 17	22 2 4/10	1 18	22 9 6/10	1 15	21 0	1 12	32 0	1 14 1/2	28 11 7 3/100
Grosse houille.	2 2	10 6	2 0	10 0	2 0	10 8	2 5	13 6	2 2	9 8 6 0/100
Menue houille.	1 2	1 10	0 19	1 7	»	1 0	0 16	1 9	0 10	0 8 5 0/100
Castine.	0 5 1/2	1 11 1/10	»	2 6	0 5	1 6	0 7	1 9	0 8	1 6 4 0/100
Frais de fabrication.										
Main-d'œuvre.	»	6 8 4/10	»	6 8	»	2 4 7 5/100	»	5 0	»	2 9 9 1/100
Fournitures diverses et réparations.						1 11 2 5/100				1 9 2 4/100
Entretien des routes et chemins de fer.	»	4 2 4/10	»	6 0	»	3 0	»	3 0	»	0 5 12/100
Frais généraux, bureaux, etc.										1 1 6 2/100
Intérêt et amortissement du premier établissement.										
Intérêt du fonds de roulement.								3 4		0 8
	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0 11 4 0/100
Totaux.	»	47 4 3/10	»	49 6 6/10	»	41 6	»	60 0	»	48 0 8 2/100
Soit par 1.015 en liv. sterl., shillings et deniers.	»	$2^l,7^s,4^d$ 3/10	»	$2^l,9^s,6^d$ 6/10	»	$2^l,1^s,6^d$	»	3 liv.	»	$2^l,8^s,0^d$ 82/100
Soit enfin, par 1.000 kil., en francs et centimes.	»	$58^f,80$	»	$61^f,51$	»	$50^f,53$	»	$75^f,60$	»	$61^f,72$

On voit bien par ce tableau que c'est par l'abaissement des frais de main-d'œuvre et des frais généraux que les fonderies ont jusqu'ici maintenu leur prix de revient à un chiffre à peu près constant, malgré l'accroissement du prix des minerais; or les réductions des frais généraux et des dépenses en main-d'œuvre sont le résultat exclusif des fortes productions journalières des hauts fourneaux.

Mais ce que nous avons dit précédemment prouve suffisamment que les prix de revient ont plus de chances de s'élever au-dessus des chiffres du tableau précédent que de se réduire davantage à l'avenir.

Il y a certainement place, dans le mode actuel de travail des fauts fourneaux écossais, pour plus d'un perfectionnement : on pourrait notamment y économiser la plus grande partie du menu de chaudières et appareils à air chaud; on pourrait encore, tout en maintenant des productions aussi élevées qu'aujourd'hui, réduire un peu la consommation de grosse houille. Mais l'effet de ces diverses améliorations ne sera peut-être que de 2 à 3 shillings par tonne, tandis que l'accroissement probable de 3 à 4 shillings par tonne de minerais peut. à lui seul, surélever le coût de la tonne de 6 à 7 shillings, peut-être 8 ou 9.

Le prix de 3 livres en 1854 est évidemment une exception, au moins pour les usines bien placées : nous en avons déjà montré une raison dans le taux de la main-d'œuvre à cette époque; nous allons voir aussi qu'à cette date le taux de l'intérêt des capitaux devait être plus élevé qu'à aucune autre.

D'un autre côté, nous avons surtout considéré jusqu'ici les fonderies les plus favorablement situées; mais il en est certainement un nombre assez grand dont les prix actuels s'élèvent à 50 et 55 shillings, sinon même

à près de 60 shillings. Ces conditions paraissent être celles, en particulier, des établissements obligés de recourir au crédit, c'est-à-dire d'emprunter leurs fonds de roulement.

Nous pourrions, en effet, citer les exemples de deux de ces établissements où les frais de matières et main-d'œuvre, s'élevant respectivement à 46 et à 54 shillings par tonne de fonte, les dépenses générales et intérêts d'emprunts, y compris il est vrai 1 à 2 shillings de transport jusqu'à Glasgow, montaient à la somme de $6^{sh},8^{d}$, ce qui portait les prix de revient définitifs à $52^{sh},8^{d}$ et $61^{sh}2^{d}$. Observons toutefois que ces prix se rapportent à l'année 1857, époque à laquelle le taux des salaires était de 4 shillings, au lieu de $3^{sh},3^{d}$ à $3^{sh},6^{d}$ pour 1859-60.

Il semblerait résulter de là que les capitaux fournis par les banques exigent un intérêt assez élevé. On comprend combien il est difficile d'avoir à cet égard des mesures un peu précises. Toutefois, la facilité avec laquelle les fondeurs écossais font argent de leurs produits, grâce au système des *warrants*, les place dans une condition relativement avantageuse sous ce rapport. Par suite même de ce système, en Écosse peut-être plus encore que dans les autres districts sidérurgiques du Royaume-Uni, il y a naturellement un rapport très-étroit entre l'intérêt du fonds de roulement et le taux de l'escompte commercial.

A défaut de données plus précises sur l'intérêt des capitaux, nous croyons donc devoir rapporter les variations du taux de l'escompte pendant la période 1848 à 1859; les voici :

ANNÉES.	TAUX de l'escompte p. 100.	ANNÉES.	TAUX de l'escompte p. 100.	ANNÉES.	TAUX de l'escompte p. 100.
1848. . . .	3 3/4	1852. . . .	2 1/2	1856. . . .	5 3/4
1849. . . .	3	1853. . . .	3 1/2	1857. . . .	6 1/2
1850. . . .	3	1854. . . .	5	1858. . . .	3
1851. . . .	4	1855. . . .	5	1859. . . .	3 1/4

En comparant ce tableau avec celui du § II sur les salaires et prix des fontes, on remarquera que le taux de l'escompte varie à peu près proportionnellement à ces deux autres éléments. C'est dire qu'en temps ordinaire, *capital* et *main-d'œuvre* tendent à se partager le bénéfice de la fabrication, l'un ne l'emportant sur l'autre, dans ce partage, qu'en cas d'accidents ; ainsi, de même qu'en 1857 la crise financière, qui pesait alors sur les deux mondes, élevait le taux de l'escompte, quoique les fontes et les salaires fussent en baisse, de même, en 1860, la mauvaise récolte provoque la hausse des salaires malgré la lourdeur du marché, la langueur de la production, et le taux assez bas de l'escompte.

Avant de passer au chapitre des ventes et débouchés, nous rappellerons qu'aux prix de revient, donnés plus haut, il faut ajouter pour transports, pour canaux ou chemins de fer, jusqu'au magasin général de dépôt à Glasgow, 1 à 2 shillings, suivant la position des usines. On obtiendra ainsi des revients comparables aux prix de vente moyens de nos divers tableaux, ceux-ci se rapportant aux numéros de fontes dits *numéros mélangés warrants*.

§ 4. *Débouchés et vente des produits. — Prix des fontes. Bénéfices des fondeurs.*

I. *Débouchés et variations des prix.* — Sous le rapport de la vente et de l'écoulement de leurs produits, les fonderies écossaises sont, il faut le reconnaître, dans une situation exceptionnellement favorable. Elles trouvent, à de faibles distances, deux côtes où abondent les ports d'expédition ; elles s'y rattachent par de nombreuses voies de transport : chemins de fer et canaux ; elles sont encore à portée de deux fleuves : *la Clyde* et *le Forth*, accessibles aux navires d'exportation sur une bonne partie de leurs cours.

L'industrie écossaise n'apprit cependant qu'assez tard à tirer parti de ces avantages naturels et à faire de l'exportation des fontes un des éléments les plus essentiels de son commerce.

De 1830 à 1845, les fondeurs écossais semblent n'avoir en vue que la consommation intérieure du Royaume-Uni. Ainsi, en 1830, sur une production totale de 40 à 50.000 tonnes l'exportation n'en recevait que 8 à 9.000, dont près de la moitié s'arrêtait en France (1).

En 1845, sur une production de 500.000 tonnes, l'exportation n'est encore que de 54.761, c'est-à-dire un peu plus de 1/10, proportion moindre qu'en 1830.

Pendant toute cette première période, les progrès de la production répondent donc surtout aux accroissements de la consommation locale et des expéditions par cabotage sur les côtes de la Grande-Bretagne : c'était l'époque des grandes spéculations sur les chemins de fer et de l'achèvement des principales artères

(1) Pour toute cette partie de nos documents économiques, nous avons eu recours : 1° à un petit opuscule de *M. John Barclay*, publié à Glasgow en 1850 et intitulé : *Statistics of the Scotch Iron trade ;* 2° aux *Mining-Records* de M. Robert Hunt (statistique minière et métallurgique de la Grande-Bretagne, en 1853, 1854, 1855, 1856, 1857, 1858 et 1859) ; 3° aux nombreuses circulaires ou listes de prix de diverses maisons de commerce de Glasgow, documents recueillis par nous.

du réseau anglais. La demande intérieure absorbait alors aisément les accroissements de production; les stocks étaient rares dans les fonderies; les prix, constamment élevés, excitaient à la création de nouveaux établissements, auxquels une formation houillère presque vierge semblait laisser une place indéfinie.

Vers la fin de cette période, la multiplication des fonderies, et, par suite, une concurrence plus active, sur un marché intérieur désormais trop restreint, provoquèrent une première chute des prix, ainsi qu'il résulte du tableau suivant :

ANNÉES.	PRIX de vente.	ANNÉES.	PRIX de vente.	ANNÉES.	PRIX de vente.
	liv. sch. d.		liv. sch. d.		liv. sch. d.
1830. . . .	5 0 0	1835. . . .	4 10 0	1840. . . .	3 15 0
1831. . . .	4 10 0	1836. . . .	6 15 0	1841. . . .	3 0 0
1832. . . .	4 10 0	1837. . . .	4 10 0	1842. . . .	2 10 0
1833 . . .	4 0 0	1838. . . .	4 0 0	1843. . . .	2 16 0
1834. . . .	4 5 0	1839. . . .	4 10 0	1844. . . .	2 14 9

En 1845-46 s'ouvre une ère nouvelle pour l'industrie de la fonte d'Écosse : elle se répand au dehors; elle cherche *en France*, *en Allemagne*, *aux Etats-Unis*, etc., des débouchés qui vont croissant rapidement de 1846 à 1848. Cette dernière année devait marquer, en Écosse comme ailleurs, au nombre des époques de perturbation générale des affaires industrielles et commerciales. Ce district eut donc à subir, comme beaucoup d'autres, cette longue crise de 1848 à 1852, crise encore aggravée pour lui par la concurrence des nouveaux établissements, en construction à la veille de cette période néfaste.

En 1852-53 l'industrie retrouve enfin son assiette. Les fonderies écossaises prennent une large part des débouchés offerts sur le Continent et en Amérique par

les progrès des grands travaux publics. Les stocks s'y réduisent et les prix, sans atteindre les taux élevés d'autrefois que la concurrence rend désormais impossibles, se relèvent constamment jusqu'en 1857.

La pléthore et la crise qu'elle engendre à cette date en Amérique, coïncidant avec un moment d'arrêt des grandes entreprises du Continent, semblent se réunir pour clore, aux premiers jours de 1858, cette période de prospérité.

Les préoccupations politiques de l'Europe se sont depuis superposées à ces premières causes de malaise pour le perpétuer en 1859 et en 1860.

Enfin l'état de langueur créé par ces diverses circonstances s'est encore aggravé, d'une manière toute spéciale pour les fonderies écossaises, par la concurrence d'un district tout nouveau dans le mouvement industriel du Royaume-Uni : *du Cleveland*, qui a si rapidement grandi depuis quelques années. Les prix de revient et de vente y sont assez bas pour compenser la légère différence de qualité qu'on prétend avoir reconnu entre ses fontes de moulage et celles d'Écosse.

Voilà, à grands traits, la succession des circonstances qui ont provoqué de 1845 à 1859 les fluctuations du stock, de l'exportation et des prix, telles qu'elles sont rapportées dans le tableau suivant :

ANNÉES.	IMPORTANCE du stock en milliers de tonnes de 1.015 kil.	EXPORTATION proprement dite (1), en milliers de tonnes.	EXPORTATION par cabotage (2), en milliers de tonnes.	EXPORTATION TOTALE en milliers de tonnes.	PRIX de vente des fontes en livres, schillings et deniers.	Observations.
	milliers	milliers	milliers	milliers	liv. sch. d.	
1845.	240	56,671	»	»	4 0 3	
1846.	144	119,107	192,893	312,010	3 11 9	
1847.	89	143,460	227,005	370,465	3 5 0	
1848.	80 à 100	162,114	227,870	389,984	2 4 4	
1849.	196	153,200	221,943	375,143	2 6 1	
1850.	200	134,710	189,490	324,200	2 4 6	
1851.	300	192,610	260,090	452,700	2 1 0	
1852.	360	224,370	210,530	434,900	2 5 2	
1853.	450	318,020	316,980	635,000	3 1 5	
1854.	216	283,903	301,097	585,010	3 19 9	
1855.	132	243,108	295,000	538,108	3 10 9	
1856.	130	258,589	245,000	503,589	3 12 6	
1857.	90	294,232	233,768	528,000	3 9 2	
1858.	196	274,000	280,000	554,000	2 14 5	
1859.	350	254,245	312,755	567,000	2 11 11	

(1) Y compris quelques milliers de tonnes expédiées d'Écosse en Angleterre, par railways.

(2) On ne sera peut-être pas fâché de trouver les parts de la France dans ces exportations, les voici en milliers de tonnes, nombres ronds :

Années.	Milliers	Années.	Milliers	Années.	Milliers	Années.	Milliers
1830. . .	4	1848. . .	6	1852. . .	19	1856. . .	61
1845. . .	11	1849. . .	9	1853. . .	29	1857. . .	68
1846. . .	46	1850. . .	10	1854. . .	31	1858. . .	52
1847. . .	25	1851. . .	11	1855. . .	67	1859. . .	51

On n'aurait d'ailleurs qu'une idée incomplète du mouvement commercial auquel donne lieu la fonte d'Écosse, si nous n'ajoutions quelques mots sur ce qui constitue la consommation locale, c'est-à-dire sur le complément de vente à ajouter aux chiffres précédents.

La consommation locale se divise en deux branches : les *fonderies de deuxième fusion* et les *forges*.

Jusqu'ici plusieurs obstacles semblent s'être opposés à un développement de ces deux modes aussi rapide que celui de l'exportation : parmi ces obstacles, citons surtout la nature moins simple des produits qui, par

suite, se prêtent moins à des transactions commerciales étendues. Citons aussi la difficulté du recrutement et du maintien d'un personnel plus spécial dans un district où la population ouvrière est déjà fort nombreuse et très-condensée (1).

Voici, au reste, les chiffres de ces deux sortes de consommations pendant la période 845 à 1859.

ANNÉES.	CONSOMMATIONS des fonderies en milliers de tonnes.	CONSOMMATIONS des forges en milliers de tonnes.	TOTAL de la consommation locale.
	milliers	milliers.	milliers.
1845.	»	60	»
1846.	200	80	280
1847.	»	100	»
1848.	»	130	»
1849.	117	110	227
1850.	»	»	»
1851.	»	»	»
1852.	»	»	»
1853.	125	180	305
1854.	111	150	261
1855.	125	175	300
1856.	133	193	326
1857.	155	160	315
1858.	146	132	278
1859.	193	150	343

Il paraît donc vrai que les quantités de fontes absorbées par les fonderies de deuxième fusion et par les forges n'ont pas suivi une marche ascendante aussi rapide que l'exportation ; mais il faut remarquer qu'en grande partie les moulages sont destinés à l'exportation. De plus, 25 à 30 p. 100 des fers en barres et tôles fabriqués en Écosse s'écoulent directement en

(1) C'est évidemment sous l'influence de cette difficulté de recrutement ouvrier, que les fonderies 2e fusion d'Écosse ont imaginé les moyens mécaniques de moulage de tuyaux, des coussinets, etc., moyens dont les dispositions ingénieuses ont excité l'admiration générale lors des dernières expositions industrielles.

pays étrangers. Enfin, sur le surplus des moulages et fers, les grands ateliers de construction établis le long de la *Clyde* et du *Forth* en absorbent encore une assez notable proportion pour les commandes en *navires*, *ponts métalliques* et *machines diverses* qu'elles reçoivent de l'Angleterre et de l'étranger.

C'est dire, en un mot, que, depuis 1845-1846 l'Écosse a su mettre à profit les avantages naturels de ses conditions géographiques ; elle livre aujourd'hui à l'exportation la plus large part de ses produits sidérurgiques.

II. *Mode de vente.* — Nous n'insisterons pas longtemps sur les combinaisons purement financières et commerciales par lesquelles un pareil mouvement s'est établi et développé. Elles sont d'ailleurs fort simples et se résument dans le fonctionnement de deux sortes d'agents qui se prêtent un mutuel concours : *les commissionnaires* et *le magasin général.*

La plupart des fondeurs ont une agence spéciale qui reçoit et exécute les ordres commerciaux ; mais ces ordres lui arrivent presque toujours par l'entremise de nombreuses maisons de commission, établies à Glasgow et à l'étranger.

Remarquons, en passant, une circonstance digne d'être notée : c'est à l'Allemagne que l'Écosse a surtout emprunté cette colonie de négociants commissionnaires à laquelle elle doit, sans contredit, une bonne partie de son activité commerciale. Aux époques de prospérité comme aux temps de crise, ces commissionnaires sont en quête de débouchés nouveaux, toujours attentifs à toute circonstance pouvant étendre leurs relations sur les divers points du globe.

Le mécanisme des *billets de gage* ou *warrants* délivrés sur dépôts de fontes au magasin général de Glasgow,

en fournissant un aliment continu à la spéculation, devait exciter encore l'activité des commissionnaires, en les rendant souvent, à la bourse de Glasgow, les intermédiaires naturels des producteurs et des spéculateurs écossais ou étrangers.

La création de ces magasins généraux a donc aussi puissamment contribué à la prospérité de l'industrie de la fonte écossaise. Nous ferons voir plus loin le rôle que les *warrants* jouent spécialement en temps de crise.

III. *Bénéfices des fondeurs.* — Pour bien apprécier les bénéfices des fondeurs, il nous paraît nécessaire de résumer un peu ce qui précède sur les variations des prix de vente et des prix de revient.

En jetant les yeux sur les divers documents que nous avons rapportés à ce sujet, on verra que :

1° Aussi longtemps que la fabrication écossaise, peu pressée par la concurrence, n'a en vue que le marché intérieur, elle parvient aisément à y maintenir des prix de vente de 4 à 5 liv. contre des prix de revient de 2 liv. à 2 liv. 10 sh. En un mot, elle réalise des bénéfices énormes, tout en se bornant à une production relativement restreinte.

2° Les fortunes brillantes créées pendant cette première période si prospère, provoquent la création d'un nombre d'usines disproportionné avec les besoins permanents du marché intérieur.

3° C'est donc sous l'empire exclusif de la concurrence que naît, pour les fonderies écossaises, la nécessité de faire franchir à leurs produits les limites du marché intérieur et d'entrer largement dans la voie des débouchés étrangers.

Remarquons encore la date à laquelle correspond ce mouvement d'expansion de l'industrie écossaise ; c'est

en 1845-1846, c'est-à-dire, coïncidence digne d'intérêt, au moment même où *la ligue pour la liberté de commerce*, sortie des ateliers de Manchester en 1838 et rapidement grandie dans l'opinion publique, parvenait jusque sur les bancs du parlement britannique et allait définitivement triompher par le concours décisif de Sir Robert Peel.

4° A cette révolution économique correspond une modification importante dans l'allure industrielle des fonderies écossaises. Condamnées, dès cette époque, à des prix de vente inférieurs, elles cherchent dans l'accroissement de la production et dans l'élasticité du marché, une compensation à la baisse de leurs bénéfices. C'est à cette date, en effet, que commencent les progrès les plus rapides de la production journalière des hauts fourneaux; progrès qui aboutissent à une production totale, double en 1859 de ce qu'elle était en 1845 et quintuple de celle de 1830 à 1840. Les nombres de hauts fourneaux de ces trois époques sont loin de suivre la même progression, car ils restent entre eux comme 1,33 : 1 : 0,66.

Les fondeurs ont-ils trouvé dans l'accroissement de production une compensation parfaite de la baisse des prix? Il serait inexact de l'affirmer absolument; mais il est aisé de voir que cette modification leur a procuré des avantages qui ne sont pas sans importance.

Et d'abord, nous avons montré ci-dessus que malgré l'augmentation du prix des matières premières, les fortes productions journalières avaient permis de maintenir jusqu'ici les prix de revient à très-peu près constants, pour les mêmes taux de salaires.

D'un autre côté, si, dans la période de 1845 à 1859, les prix de vente ont toujours été inférieurs à ceux de 1830 à 1840, ils se sont pourtant relevés assez haut,

à certains moments, pour permettre, par chaque haut fourneau, un bénéfice très-comparable à celui des anciens temps. Il suffit pour s'en convaincre, de comparer le revient de 3 liv., en 1854, au prix de vente de la même année, c'est-à-dire à 3 liv. 19 sh. Un haut fourneau produisant alors 6 à 7.000 tonnes à 19 sh. de bénéfice par tonne, réalisait un grain annuel de 6.000 liv. sterl. Or, avec un écart de 2 liv. à 2 liv. 10 entre les prix de revient et de vente, un haut fourneau de la période 1830-1840, qui ne produisait, au maximum, que 3.000 tonnes, n'obtenait de bénéfice annuel que 6.000 à 7.500 liv. On voit donc combien les résultats définitifs se rapprochent, dans des circonstances commerciales d'ailleurs comparables.

Il est vrai que les prix de vente n'ont atteint le chiffre de 3 liv. 19 sh. qu'une fois depuis 1845. Ils se sont tenus bien plus généralement entre 3 liv. 5 et 3 liv. Mais si l'on se rappelle ce que nous avons dit des variations du taux des salaires, on remarquera aussi que les prix de revient se sont généralement tenus au-dessous du chiffre de 1854 (3 liv.).

Cependant, même en tenant compte de ces variations, si l'on se borne à la simple comparaison des prix de revient et de vente d'une même année, — prenons, pour exemple 1859, — on arrive à la conclusion que les usines les plus favorablement situées ne réalisent qu'un bénéfice de 1, 2 ou 3 sh. par tonne, c'est-à-dire que, malgré les fortes productions, elles seraient aussi voisines de la perte que du gain.

C'est là, en effet, *ce qu'on voit* d'abord. Mais là aussi il y a *ce qu'on ne voit pas*, sans un examen plus approfondi des documents qui précèdent.

En étudiant d'un peu plus près les chiffres de la production de 1845 à 1859, on est frappé des écarts

de vitesse que présente sa marche ascensionnelle d'un moment à l'autre de cette longue période.

Tandis que de 1845 à 1848, le progrès de la production n'est que de 18 p. 100
de 1851 à 1854. 0
de 1854 à 1857. 22
Il est de 30 % de 1848 à 1851.

C'est-à-dire qu'aux époques où les prix de vente sont les plus bas et les stocks les plus élevés, la production progresse plus rapidement.

Les mêmes faits semblent se reproduire depuis 1857.

Or, ne voit-on pas dans ces rapprochements l'effet d'une spéculation bien simple?

Ceux des fondeurs, abondamment pourvus de capitaux, mettent à profit l'influence des stocks élevés et des bas prix des fontes sur le taux des salaires, pour accélérer leur production et fabriquer, à coût réduit, des produits qu'ils écouleront dans des temps meilleurs. Par là, ils réalisent le plus souvent des bénéfices notablement supérieurs à ceux qu'accuserait la simple comparaison des prix de revient et de vente d'une même année.

Les établissements moins bien partagés sous le rapport des capitaux, trouvent dans la combinaison des *warrants* une ressource qui leur fait rarement défaut. A moins de crise générale et prolongée, les billets de gage que leur délivre le magasin général trouvent toujours preneurs aux époques de bas prix et de hauts stocks, auxquelles nous avons vu précédemment que correspondent presque toujours les taux les plus bas de l'escompte, ou en d'autres termes, une certaine abondance de capitaux. Le bénéfice dont l'échéance, en pareil cas, est toujours plus ou moins éloignée, change alors de main, passant naturellement du fabricant au capitaliste ou au spéculateur, mais il n'en subsiste

pas moins dans ce cas comme dans l'autre. Le fondeur lui-même trouve dans ces combinaisons l'avantage de traverser moins péniblement une époque difficile.

IV. *Véritable portée des stocks.* — Les rapprochements que nous venons de faire permettent aussi d'interpréter dans son vrai sens la portée des stocks. On les a souvent présentés comme une menace permanente de concurrence à tout prix.

Or, si quelqu'un doit y voir une menace, c'est bien plutôt l'ouvrier écossais que le fabricant étranger dont les produits sont appelés à lutter avec les fontes d'Écosse.

A l'appui des craintes provoquées par ces stocks, on invoque les dangers des temps de crise. Mais n'est-on pas fondé à trouver l'invocation bien gratuite, en présence des faits qui se sont produits de 1848 à 1853, c'est-à-dire pendant une crise qui, certes, a été assez longue et assez intense? Au début de cette période, il y avait déjà un stock de fonte; or, loin de s'écouler à tout prix, ne le voyons-nous pas passer rapidement de 80.000 ou 100.000 tonnes en 1848 à 450.000 en 1853? N'est-ce pas une preuve suffisante de la résistance opposée par les fondeurs et négociants écossais à l'avilissement des prix, à leur baisse en dessous des prix de revient?

Quant aux spéculations par lesquelles nous venons de voir les fondeurs écossais maintenir et développer leur production en temps de crise, elles sont certainement facilitées par la nature même d'un produit qui, toujours semblable à lui-même, a une destination précise et constante, sur lequel enfin les transactions commerciales sont des plus simples et n'exigent que peu de connaissances spéciales. Néanmoins elles réclament aussi une certaine abondance dans les capi-

taux. A cet égard, on peut dire que la plus grande part des ressources dont dispose aujourd'hui l'Écosse provient des périodes de prospérités antérieures. Les premiers bénéfices ne se sont pas toujours concentrés exclusivement dans quelques mains ; ils se sont souvent divisés entre un grand nombre de détenteurs qui continuent à les appliquer à la même industrie ou au même commerce. Cette permanence des capitaux dans la même destination forme un des traits les plus caractéristiques de l'industrie, non-seulement en Écosse, mais encore dans tout le Royaume-Uni. Le secret de l'abondance des capitaux industriels en Angleterre n'est pas ailleurs que dans ce fait, qui tient lui-même tout autant, sinon plus, à l'étendue et à la constitution de la propriété foncière qu'au caractère propre du peuple anglais.

Il faut reconnaître enfin que la confiance qui soutient *les warrants* et les spéculations, auxquelles ils donnent lieu, a son meilleur point d'appui dans le vaste débouché que des prix de vente réduits ont su ouvrir à la fonte écossaise.

Cette confiance ne pourrait être trahie que par l'apparition sur les marchés de produits comparables à ceux d'Écosse et livrés à plus bas prix.

Sans vouloir prophétiser l'avenir, nous pensons que les prix de revient écossais ont plutôt chances d'accroissement que de réduction, nous avons assez dit pourquoi. Si le *Cleveland*, d'une part, et les fonderies projetées depuis peu dans le *Lancashire* et dans le *Cumberland*, de l'autre, continuent à grandir dans des conditions plus neuves, et par suite, plus favorables, l'Écosse sera certainement exposée à une sérieuse concurrence et ses exportations de fontes brutes ou moulages à une réduction inévitable.

Mais, en ce qui touche les stocks et la spéculation, l'industrie écossaise n'a évidemment pas à craindre, de cette concurrence future, des effets tellement inopinés qu'elle n'ait le temps d'aviser au meilleur mode d'écoulement de ses produits. Encore abondamment pourvue de matières premières, elle pourrait recourir alors à la ressource des districts qui, incapables de fabriquer à bas prix des produits simples, trouvent dans une formule d'élaborations plus complètes, l'utilisation de leurs richesses naturelles. A cet égard l'Écosse nous paraît aussi apte, sinon plus que le *Staffordshire*, le *Yorkshire* et le *pays de Galles*, à fabriquer toutes sortes de fers, tant sous le rapport de la qualité que sous celui du prix de revient. Les difficultés du recrutement ouvrier s'y résoudraient en pareil cas, par une mesure convenable dans la production ; elles s'amoindriront d'ailleurs sans doute à l'avenir, par suite de la réduction progressive du travail dans les anciens districts, notamment dans le Staffordshire.

APPAREIL HYDRAULIQUE

REMPLAÇANT LES FORMES SÈCHES, CONSTRUIT A LONDRES, PAR M. E. CLARKE.

Nous empruntons cette description à un article publié par M. Schaaf, conducteur des travaux hydrauliques, dans un des recueils technologiques les plus estimés de l'Allemagne, le *Zeitschrift des Architecten und Ingenieur-Vereins für das Königreich Hannover* (1).

A n'envisager que son but, le remarquable appareil, conçu et exécuté par M. Clarke, sort du cadre ordinaire des *Annales des mines;* mais il y rentre complétement par le mode de solution du problème, solution purement mécanique et dans laquelle les travaux de construction proprement dite ont presque entièrement disparu.

L'opinion des hommes compétents est, nous le savons, loin d'être unanimement favorable au nouveau système; plusieurs le considèrent comme sujet à des accidents graves, surtout pour les gros navires, et n'admettent son emploi que pour les bâtiments de petites dimensions.— L'expérience se fait, elle prononcera. Il en sera peut-être de la forme sèche par épuisement comme du sas éclusé qui, malgré son imperfection, soit comme machine élévatoire, soit comme frein, survit à toutes les tentatives de solutions théoriquement plus satisfaisantes, mais d'un caractère trop exclusivement mécanique. Quoi qu'il en soit, celle dont il s'agit mérite d'être connue.

Si d'ailleurs on se défiait du mode de levage des navires, si l'on redoutait les conséquences d'une rupture des organes du mécanisme, on pourrait prendre du système ce qu'il a de caractéristique et conserver la forme sèche, mais seulement comme appareil d'émersion. — Par l'épuisement, on installerait le navire sur un ponton échoué d'avance au fond; l'élévation s'opérerait par la rentrée de l'eau. Une seule forme desservirait ainsi plusieurs cales, et l'on renoncerait seulement à l'économie qui résulte de la petitesse du poids du navire, relativement au poids du prisme d'eau.

COUCHE.

(1) Tome VII, 1861, page 54.

Le principe même, c'est-à-dire l'élévation du navire substituée à l'épuisement de l'eau dans une enceinte fermée, est depuis longtemps en usage dans les ports des États-Unis. — Mais, comme dans la forme sèche, le navire est réparé sur place, et l'on ne peut pas dès lors avoir simultanément en réparation plus de navires qu'il n'y a d'appareils élévatoires.

Ce qui caractérise le système de M. Clarke, c'est que le navire émergé se trouve installé sur un ponton, de sorte que le tout peut être conduit ailleurs et le navire réparé à loisir. L'appareil élévatoire devient ainsi immédiatement disponible pour un autre, et peut, à lui seul, suffire à un mouvement très-considérable.

La Pl. VII représente cette nouvelle application, fondée, comme tant d'autres en Angleterre, sur l'emploi de l'eau comme agent de transmission du travail mécanique de la vapeur.

Le système, comme l'indique la *fig.* 1, constitue par le fait une dépendance des docks Victoria, mais il appartient à une société distincte.

Un coup d'œil sur les *fig.* 2 à 5 suffit pour faire comprendre le mécanisme.

Deux rangées de seize colonnes en fonte de $1^m,525$ de diamètre et $18^m,30$ de hauteur (dont $3^m,6$ à $3^m,7$ de fiche) comprennent entre elles un espace assez grand pour recevoir les navires du plus fort tonnage; leur espacement d'axe en axe est de $18^m,91$ d'une rangée à l'autre, et de $6^m,10$ dans une même rangée.

Chacune des colonnes contient, comme on le voit sur la coupe (*fig.* 2) une presse hydraulique. L'extrémité supérieure du cylindre affleure le niveau de l'eau dans le bassin. Le piston a $0^m,254$ de diamètre et $7^m,625$ de course. A ce piston est fixée une traverse en fer forgé t, t, qui glisse dans deux rainures p (*fig.* 4) ménagées dans

la partie supérieure de la colonne et guide ainsi le piston. A cette traverse est suspendue, au moyen des deux tirants c, c, une entretoise formée de deux poutres jumelles pp, dont la longueur totale est de $20^m,74$.

Dans l'état de repos, tous les pistons sont au bas de leur course, et les poutres appliquées sur le radier du canal, à $8^m,50$ de profondeur. Le navire à réparer attend dans le bassin Victoria : on amène entre les deux files de colonnes un ponton en tôle P de dimensions appropriées à l'échantillon du navire, et pourvu de chantiers en bois pour supporter la quille et les formes de la coque. — Le ponton étant en place, on ouvre des bondes de fond, et il vient s'échouer sur les poutres. Le navire est halé à son tour et vient se projeter sur le ponton. Alors une machine à vapeur refoule de l'eau dans les presses, des soupapes isolant bien entendu s'il s'agit d'un navire de dimensions restreintes, les colonnes qui dépassent le ponton. — Les poutres s'élèvent parallèlement, et avec elles le ponton qui vient appliquer contre la quille les blocs f, f, f. On place successivement, suivant les besoins, d'autres chantiers et des tins qu'on bande au moyen de chaînes (*fig.* 4). — En même temps qu'il s'élève, le ponton se vide, et dès que son fond est émergé, on ferme les bondes. On laisse alors descendre les pistons, et le ponton flotte portant le navire à sec. Un navire ayant un tirant d'eau de 6 mètres environ peut ainsi, dans l'espace de quarante minutes à peine, être installé sur un ponton tirant seulement $1^m,22$ à $1^m,53$. — Il ne reste plus alors qu'à le conduire dans une des cales faisant suite au canal et bordées de quais sur lesquels sont établis les ateliers de charpentiers, les forges, etc. Comme l'indique la *fig.* 1, ces cales sont maintenant au nombre de huit, mais on s'est ménagé les moyens d'augmenter ce nombre. Leur largeur dé-

passe de très-peu la longueur des poutres, et leur faible profondeur (1m,81) les rend très-peu dispendieuses.

Une opération dont M. Schaaf a été témoin a exigé en tout trois heures. Il s'agissait d'un navire de 1.400 tonnes environ, pour lequel vingt-deux presses sur les trente-trois avaient dû fonctionner.

La compagnie assure que, pour les plus gros navires, tels que l'*Himalaya*, l'opération pourrait être faite en deux heures, et qu'une journée suffirait pour visiter et remettre à flot huit ou dix navires de dimensions ordinaires.

Le service des presses est fait par quatre pompes mues par une machine à vapeur de cinquante chevaux.

L'eau refoulée par les pompes n'est pas distribuée aux trente-deux presses par un récipient unique. Il importait, en effet, de se ménager un moyen facile d'assurer l'égalité des mouvements des pistons ou, plus exactement, de corriger leurs petits écarts inévitables. A cet effet, l'eau est refoulée dans trois récipients distincts, et son introduction dans chacun d'eux est réglée par une vanne spéciale. Les trente-deux presses, dont les tuyaux alimentaires s'embranchent sur ces récipients, forment ainsi trois groupes indépendants dans chacun desquels le mécanicien règle l'admission de manière à maintenir à la fois plane et horizontale la surface formée par les traverses des pistons. — Les trois réservoirs A, B, C sont placés dans une cabine K, établie sur une estacade à côté de l'appareil. Les deux extrêmes alimentent chacun huit presses, — celui du milieu les seize autres.

Chacun des petits tuyaux aboutissant aux presses a d'ailleurs un robinet spécial qui permet d'isoler s'il y a lieu, comme on l'a dit plus haut, celles qui, en raison des dimensions du navire, n'auront pas à travailler.

Pour prévenir toute erreur dans cet isolement, les trois groupes de presses sont distingués par des couleurs différentes (bleu, rouge, blanc) appliquées sur les colonnes, et les robinets correspondants dans la cabine portent la même couleur, ainsi que le même numéro d'ordre.

Cette relation visible entre les presses et le récipient qui les alimente permet, de plus, au surveillant d'assurer facilement l'égalité de mouvement de tous les pistons. Placé dans la cabine, dont la face en regard de l'appareil est entièrement vitrée, il suit de l'œil la marche des traverses du piston. A la moindre inégalité, au moindre déversement, il voit immédiatement sur quel groupe il doit agir pour tout remettre en état, et il règle en conséquence l'introduction dans le réservoir correspondant.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS.

DIRECTION GÉNÉRALE DES PONTS ET CHAUSSÉES
ET DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS.

BUREAU DE STATISTIQUE.

Recettes de l'exploitation des chemins de fer français.

PREMIER SEMESTRE DES ANNÉES 1860 ET 1861.

Recettes de l'exploitation des Chemins de fer français. — Années 1861 et 1860.

NOMS DES CHEMINS.	1861				1860				TOTAL du semestre.		DIFFÉRENCE en plus.		PAR KILOMÈTRE,				OBSERVATIONS.
	LONGUEUR		RECETTES		LONGUEUR		RECETTES						RECETTE totale.		DIFFÉRENCE de 1861 sur 1860,		
	totale exploitée au 30 juin.	moyenne exploitée pendant l'année entière.	1er trimestre.	2e trimestre.	totale exploitée au 30 juin.	moyenne exploitée pendant l'année entière.	1er trimestre.	2e trimestre.							totale		pour cent
									1861.	1860.	1861.	1860.	1861.	1860.	en plus.	en moins.	en plus.	en moins.
Ancien réseau.	kil.	kil.	fr.	fr.	kil.	kil.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.				
Nord (1)	956	956	14.349.065	14.783.148	956	956	14.159 228	14.221.819	29.132.213	28.381.047	751.166	»	30.473	29.687	786	»	2,65	»
Est (2)	964	958	10.732.975	11.918.975	956	954	9.745.572	11.169.315	22.651.950	20.914.887	1.737.063	»	23.645	21.923	1.722	»	7,85	»
Ouest	900	900	10.357.724	12.065.293	900	900	10.022.137	11.857.491	22.422.927	21.879.631	543.296	»	24.914	24.311	603	»	2,48	»
Orléans	1.474	1.474	16.291.518	17.766.711	1.472	1.472	14.324.332	16 304 635	34.058.229	30.688.965	3.369.264	»	23.106	20.848	2.258	»	10,83	»
Paris à Lyon et à la Méditerranée	1.411	1.411	26.884.727	28.574.596	1.411	1.408	21.495.032	23.866.335	55.459.323	45.361.367	10.097.956	»	39.305	32.217	7.088	»	22,00	»
Lyon à Genève (3)	237	237	1.446.746	1.831.651	237	237	1.270.355	1.587.380	3.278.397	2.857.735	420.662	»	13.833	12.058	1.775	»	14,72	»
Midi	796	796	6.309.099	6.789.044	794	794	4.924.957	5.475.009	13.098.143	10.399.966	2.698.177	»	16.455	13.098	3.357	»	25,63	»
Victor-Emmanuel (section du Rhône)	103	103	259.300	367.554	103	103	228.367	395.820	626.854	624.193	2.661	»	6.086	6.060	26	»	0,43	»
Ceinture	17	17	525.269	449.114	17	17	444.649	400.035	974.383	844.684	129.699	»	57.317	49.687	7.630	»	15,36	»
Graissessac à Béziers	51	51	103.271	128.038	51	51	68.753	64.666	231.309	133.419	97.890	»	4.535	2.616	1.919	»	73,36	»
Besseges à Alais	32	32	345.318	351.528	32	32	258.130	246.275	696.846	504 405	192.441	»	21.776	15.763	6.013	»	38,15	»
Anzin à Somain	19	19	109.283	105.190	19	19	95.399	90.404	214.473	185.803	28.670	»	11.288	9.779	1.509	»	15,43	»
Chauny à Saint-Gobain	15	15	2.951	6.416	15	»	»	»	9.367	»	9.367	»	624	»	624	»	»	»
Carmaux à Albi	15	15	54.330	77.425	15	15	52.395	53.967	131.755	106.362	25.393	»	8.784	7.091	1.693	»	23,88	»
Totaux et moyennes	6.990	6.984	87.771.576	95 214.593	6.958	6.978	77.089.306	85.793.158	182.986.169	162.882.464	20.103.705	»	26 201	23.409	2.792	»	11,93	»
Nouveau réseau.																		
Nord (4)	32	32	47.361	50.348	15	2	»	7.084	97.709	7.084	90.625	»	3.053	3.542	»	489	»	13,81
Est	742	739	4.720.235	4.973.023	726	721	4.186.253	4.293.648	9.693.258	8.479.901	1.213.357	»	13.117	11.761	1.356	»	11,53	»
Ardennes	164	164	858.965	954.643	164	164	788.235	871.402	1.813.608	1.659.637	153.971	»	11.059	10.020	1.039	»	10,37	»
Ouest (5)	312	312	966.769	1.116.862	312	300	862.762	1.072.713	2.083.631	1.935.535	148.096	»	6.678	6.452	226	»	3,50	»
Orléans	460	460	1.267.254	1.455.637	359	359	891.367	1.133.096	2.722.891	2.024.463	698 428	»	5.919	5.639	280	»	4,97	»
Paris à Lyon et à la Méditerranée (6)	526	526	4.301.281	4.936.468	464	464	4.058.329	4.103.765	9.237.749	8.164.094	1.073.655	»	17.562	17.595	»	33	»	0,19
Dauphiné	135	135	631.253	743.827	129	129	522.031	651.558	1.375.080	1.173.589	201.491	»	10.186	9.098	1.088	»	11,96	»
Midi	99	99	149.593	167.949	99	99	105.889	164.061	317.542	269.950	47.592	»	3.207	2.727	480	»	17.60	»
Totaux et moyennes	2.470	2.467	12.942.711	14.398.757	2.268	2.238	11.414.866	12.299.351	27.341.468	23.714.253	3.627.215	»	11.083	10.596	487	»	4,60	»
RÉCAPITULATION.																		
ANCIEN RÉSEAU	6.990	6.984	87.771.576	95.214.593	6.978	6.958	77.089.306	85.793.158	182.986.169	162.882.464	20.103.705	»	26.201	23.409	2.792	»	11,93	»
NOUVEAU RÉSEAU	2.470	2.467	12.942.711	14.398.757	2.268	2.238	11.414.866	12.299.351	27.327.637	23.714.253	3.627.215	»	11.083	10.596	487	»	4,60	»
Ensemble (7)	9.460	9.451	100.714.287	109.613.350	9.246	9.196	88.504.172	98 092.509	210.327.637	(a) 186.596.717	23.730.920	»	22.255	20.291	1.964	»	9,68	»

Voir les notes de ce tableau placées à la page 278.

Nota. Les comptes des 1er trimestre de 1861 n'étant pas encore définitivement arrêtés, les chiffres qui se rapportent à cette période peuvent être susceptibles de quelques modifications.

Les sections ouvertes du 1er juillet 1860 au 30 juin 1861 ont une étendue de 214 kilomètres, savoir :

1° Ancien réseau.

	kil.
Est.	
Strasbourg à Kehl, 11 mai 1861	8
Orléans.	
Raccordement des gares à Bordeaux pour 1/2, 1er septembre 1860	2
Midi.	
Raccordement des gares à Bordeaux pour 1/2, 1er septembre 1860	2
Total pour l'ancien réseau	12

2° Nouveau réseau.

Nord.		
Lens à Ostricourt, 6 oct. 1860		17
Est.		
Gretz à Morteerf, 2 fév. 1861		16
Orléans.		
Périgueux à Brives, 17 septembre 1860	72	404
Saint-Christophe à Rodez, 5 novembre 1860	29	
Paris à Lyon et à la Méditerranée.		
Pontarlier à la frontière suisse, 24 juillet 1860	11	62
Moret à Montargis, 14 août 1860	51	
Dauphiné		
Izeaux au Grand-Lemps, 2 janvier 1861		6
Total pour le nouveau réseau		202
Ensemble		214
Longueur totale exploitée au 30 juin 1860		9.246
Longueur totale exploitée au 30 juin 1861		9.460

(a) Déduction faite des détaxes, et non compris l'impôt du dixième qui s'élève pour :
Le 1er semestre 1861 à 9.825.656fr.
Le 2e semestre 1860 à 9.071.804fr.

NOTES DU TABLEAU PRÉCÉDENT.

(1) Non compris la ligne d'Haumont à la frontière belge (11 kilom.), dont les produits ne figurent pas dans les comptes d'exploitation de la compagnie du Nord.

(2) Y compris 4 kilom. sur le territoire suisse (à Bâle) exploités par la compagnie de l'Est.

(3) Y compris 16 kilom. sur le territoire suisse exploités par la compagnie de Lyon à Genève.

(4) Non compris la ligne de Villers-Cotterets au Port-aux-Perches (8 kilom.), dont les produits ne figurent pas dans les comptes d'exploitation de la compagnie du Nord.

(5) Y compris 294 kilom. pour la section de Caen à Cherbourg et les embranchements du Mans à Mézidon, de Coulibœuf à Falaise et de Lison à Saint-Lô, qui feront partie de l'ancien réseau à partir du 1er janvier 1865.

(6) Non compris la ligne d'Ougney à Rans, dont les produits ne figurent pas dans les comptes d'exploitation de la compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

(7) Y compris 20 kilom. sur le territoire suisse exploités par les compagnies françaises et non compris 29 kilom. (lignes d'Haumont à la frontière de Villers-Cotterets au Port-aux-Perches, d'Ougney à Rauches), dont les produits ne figurent pas dans les comptes d'exploitation.

SUR LES PROGRÈS RÉCENTS

DE L'EXPLOITATION DES MINES.

Par M. CALLON, ingénieur en chef, professeur d'exploitation et de machines à l'École des mines.

L'objet de cette note est de résumer d'une manière sommaire les principaux perfectionnements accomplis dans les différentes branches de l'art des mines depuis quelques années.

Conformément à la décision prise par la Commission des *Annales*, des résumés semblables seront ultérieurement insérés, en se bornant, comme dans cette note même, à un simple énoncé pour les points qui auront déjà fait l'objet d autres publications auxquelles le lecteur pourra se reporter, et en entrant dans quelques détails pour ceux qui seront encore inédits, ou dont une description plus étendue pourra sembler opportune.

J'indiquerai d'ailleurs, lorsque l'occasion s'en présentera, soit les objections qui pourraient être faites aux procédés indiqués, soit les perfectionnements ou compléments dont ils paraîtraient susceptibles.

§ I. *Travaux de recherches et d'exploration.*

Des recherches très-multipliées ont été entreprises en France dans ces dernières années, principalement pour retrouver sous des terrains plus récents le prolongement de divers terrains houillers.

Ces recherches, effectuées généralement au moyen de sondages, n'ont présenté, au point de vue technique, rien de particulièrement saillant. Il suffit de dire ici qu'ils ont été presque tous exécutés par les trois maisons qui, en France, s'occupent spécialement de ces opérations, MM. Degousée, Kind et Mulot.

Sauf une ou deux exceptions dont les résultats n'ont pas été d'ailleurs très-satisfaisants, ces sondages ont eu lieu *à la tige*, système qui paraît décidément prévaloir dans la pratique sur le *sondage à la corde* ou *sondage chinois*.

Les recherches ont conduit sur divers points à des découvertes d'une grande importance industrielle, parmi lesquelles on doit citer au premier rang celles du Pas-de-Calais et de la Moselle, au succès desquelles ont largement contribué les travaux de MM. les ingénieurs en chef Dusouich et Jacquot.

Le bassin du Pas-de-Calais est le prolongement vers l'ouest du bassin houiller de Valenciennes, qui n'est déjà lui-même que le prolongement vers le même sens de la longue bande houillère qui traverse toute la Belgique. La partie nouvellement découverte présente déjà plusieurs concessions en pleine exploitation ; d'autres sont en instance, et il y a lieu de croire qu'avec la consommation locale, avec les facilités d'exportation que lui donne l'embranchement dit *chemin des houillères*, qu'achève en ce moment la compagnie du chemin de fer du Nord, ce bassin se développera rapidement et pourra atteindre un chiffre de production comparable à celui du bassin de Valenciennes.

Le bassin de la Moselle est le prolongement dans le département de la Moselle du bassin houiller de Sarrebruck, qui disparaît au voisinage de la frontière prussienne sous le terrain de grès rouge et de grès des Vosges. Son existence était déjà connue depuis longtemps aux environs de Forbach, à l'extrême frontière.

C'est M. Jacquot qui a appelé l'attention sur la probabilité de l'existence du terrain houiller sous une partie notable du territoire du département. C'est sur les points mêmes désignés par cet ingénieur que M. Pougnet a entrepris les premiers sondages qui ont été couronnés de succès. Un grand nombre d'autres ont été exécutés ultérieurement, et le résultat acquis à ce jour est la reconnaissance de plus de 150 kilomètres quarrés de surface houillère. Les couches rencontrées semblent appartenir au système des couches demi-collantes et à longue flamme de Geislautern. On a donc l'espoir fondé de rencontrer en dessous, quoique sans doute à de grandes profondeurs, le système des houilles grasses de Duttweiler, ce qui constitue pour la surface connue une énorme richesse. Déjà deux puits sont en exploitation dans une des concessions; un second est arrivé au terrain houiller et sera en exploitation dans quelques mois; d'autres ont encore à lutter contre les difficultés très-sérieuses de la traversée du grès des Vosges, qui est généralement très-aquifère; mais il y a tout lieu d'espérer que ces difficultés seront surmontées, et qu'avant peu d'années il existera dans la Moselle un centre de production d'autant plus intéressant pour la région de l'est de la France qu'il la soustraira aux dangers du monopole des exploitations prussiennes.

Le chemin de fer récemment voté de la ligne de Thionville à la ligne de Wissemburg traversera les diverses concessions et leur ouvrira des débouchés importants et variés, tant vers l'Alsace que vers le district métallurgique de la Moselle et des Ardennes.

Comme découvertes d'une importance moins capitale, mais encore intéressantes, je citerai :

1° La découverte de la houille sous les terrains triasique et jurassique d'une part près de Saint-Ambroix, et d'autre part entre Alais et la Grand'Combe (Gard), fait d'un grand intérêt pour l'avenir du bassin houiller du Gard, qui est destiné à prendre une part de plus en plus importante dans l'alimentation de l'industrie sur le littoral de la Méditerranée ;

2° Enfin la découverte de la houille à une profondeur de 650 mètres, faite dans le bassin de Rouchamp (Haute-Saône), au sud et en dehors des limites de la concession de ce nom, circonstance qui augmente notablement la durée, d'ailleurs limitée, de ce bassin, dont les produits luttent avantageusement en Alsace contre les houilles de Sarrebruck.

§ II. *Fonçage des puits.*

Le fonçage des puits de mines ne présente en général point de difficultés sérieuses autres que celles qui peuvent résulter de la nature ébouleuse des terrains ou de l'affluence des eaux. La réunion de ces deux circonstances (terrain coulant et affluence d'eau) a pu, dans certaines conditions, constituer un obstacle insurmontable aux moyens usités jusqu'à ce jour.

Le perfectionnement de ces moyens est donc un objet d'une grande importance pour l'industrie minérale, et il convient d'entrer dans quelques détails sur les progrès considérables

qui ont été réalisés depuis quelques années dans cette branche de l'art des mines.

Pour ce qui concerne la traversée des terrains aquifères, ou *le fonçement des avaleresses*, la mise en exploitation des terrains houillers du Pas-de-Calais et de la Moselle, dont il a été question plus haut, a conduit, dans ces derniers temps, à exécuter un grand nombre de travaux de ce genre et à en améliorer successivement l'outillage.

Ainsi, d'abord les anciennes machines d'épuisement de Newcommen, à balancier en bois, portant la maîtresse tige des pompes au moyen d'une chaîne de suspension, ont entièrement disparu. On emploie aujourd'hui presque exclusivement des machines à traction directe à haute pression, détente faible et sans condensation. M. Voillemin, directeur des mines d'Aniche, a employé également une machine horizontale commandant le mouvement de la maîtresse tige au moyen d'une chaîne passant sur une poulie de renvoi placée au-dessus du puits. Cette disposition rend plus libres les abords du puits; elle peut être recommandée dans le cas où la nature du terrain ne permet pas de placer les fondations de la machine au bord même du puits; mais l'emploi de cette chaîne n'est pas sans quelques difficultés pratiques, et en dehors de ce cas spécial, on préférera généralement placer la machine verticalement au-dessus du puits au moyen d'une charpente reposant sur deux gros murs parallèles auxquels on donnera une hauteur suffisante au-dessus du sol pour que les diverses manœuvres à la recette se fassent facilement.

Cette disposition, tout à fait recommandable, est presque universellement adoptée aujourd'hui; il y aurait toutefois à apporter dans la machine elle-même un perfectionnement d'une très-grande importance, qui consisterait dans l'emploi d'un condenseur, soit du condenseur Letoret, soit même du condenseur ordinaire de Watt, soit enfin, si l'on tenait à ne pas compliquer la machine d'exhaure, d'une petite machine condensante spéciale sur laquelle on attellerait en même temps, si on le jugeait bon, la pompe alimentaire. Que la condensation soit applicable aux machines d'avaleresse, c'est ce qui n'est pas douteux, puisque c'est sur ce principe que fonctionnaient les machines de Newcommen, exclusivement employées pendant longtemps à ces travaux. D'un autre côté, s'il est un cas où la condensation se recommande, c'est précisément pour

une opération où une machine d'*une dimension donnée* doit être soumise à des efforts *successivement croissants*, comme ceux qu'exige le jeu d'un attirail de pompe, dont la longueur augmente à mesure que le puits s'approfondit. Le diamètre du cylindre et la pression de la vapeur étant nécessairement calculés pour la profondeur maximum à atteindre par l'avaleresse avec des pompes d'un diamètre donné, il en résulte l'obligation de commencer le travail avec une pression motrice relativement très-faible, circonstance éminemment défavorable à l'économie de combustible, lorsqu'on n'emploie pas la condensation, et au contraire presque indifférente lorsqu'on l'emploie (1).

Dans un travail d'avaleresse de longue durée, c'est quelquefois par *plusieurs centaines de mille francs* qu'il faut compter le charbon consommé pour l'épuisement. Il n'est donc pas permis de négliger un perfectionnement fort simple à réaliser, et qui peut apporter une économie notable sur un article de dépense aussi important.

Quant aux pompes, la tendance a été successivement d'en augmenter le diamètre, ainsi que la hauteur de refoulement, dans le but de diminuer à la fois le nombre des pompes de chaque répétition et le nombre des répétitions.

Cette tendance se justifie complétement : la marche du travail est beaucoup plus rapide, par suite de la réduction dans le nombre des garnitures de pistons ou de soupapes à renouveler.

Partant de pompes de $0^m,25$ à $0^m,30$ de diamètre, on a été

(1) La formule qui donne le travail d'un kilogramme de vapeur à la pression p ou à la température t correspondante, et avec une contre-pression p' est :

$$T = 12.817(1+\alpha t)\left(1-\frac{p'}{p}\right),$$

α étant le coefficient de dilatation des gaz, ou 0,00366.

Si l'on suppose une condensation parfaite, ou $p'=0$, elle devient :

$$T = 12.817(1+\alpha t),$$

c'est-à-dire qu'elle varie fort peu entre les limites de température auxquelles on produit la vapeur à basse, à moyenne ou à haute pression.

Si au contraire la contre-pression p' est la pression atmosphérique, le terme $1-\frac{p'}{p}$ est égal à $\frac{5}{6}$ pour une pression effective de 5 atmosphères; il n'est plus que 1/2 pour une pression effective de 1 atmosphère, 1/3 pour une pression effective de 1/2 atmosphère et ainsi de suite.

successivement à $0^m,40$, $0^m.50$, $0^m,55$, $0^m,70$ et au delà. On voit qu'une pompe de $0^m,70$ peut en remplacer 4 de $0^m,35$; on verrait de même qu'une seule pompe de 1 mètre en remplacerait deux de $0^m,70$, avec beaucoup moins d'encombrement pour l'intérieur du puits. Je n'hésiterais pas à proposer d'employer une seule pompe d un mètre, là où l'affluence présumée des eaux en demanderait deux de $0^m,70$.

On a reconnu que pour ces grandes dimensions, un piston analogue à celui des pompes Letestu et avec garniture en gutta-percha, était le meilleur système; qu'on pouvait, non-seulement sans inconvénient, mais même avec avantage, se dispenser d'aléser les corps de pompe, et enfin pour le jeu volant employer des corps de pompe de plusieurs pièces, afin d'obtenir une longueur totale plus grande que la course du piston; ce qui permet de faire descendre la pompe, sans avoir à chaque instant à régler la longueur des tiges.

La hauteur des répétitions a été portée sans difficulté à 40, 50 mètres, et même récemment jusqu'à 75 mètres, dans une avaleresse en exécution près de Stiring-Wendel, par M. Wohlwerth. On a pour toutes ces grandes pompes employé exclusivement des colonnes d'ascension en tôle, afin de diminuer le poids à manœuvrer ou à faire porter sur les bâches.

Enfin, pour ce qui concerne le cuvelage, on a continué d'employer presque exclusivement le bois en France et dans le bassin de Mons, la fonte en Angleterre, et enfin à Liége et dans le bassin de la Ruhr, concurremment avec ces deux genres de matériaux, la maçonnerie, soit de pierre de taille, soit même simplement de briques.

Je pense que le bois est encore le meilleur système, lorsqu'on peut s'en procurer de qualité et de dimensions convenables. Il peut être plus cher que la maçonnerie, mais il le sera généralement moins que la fonte. C'est le bois d'abord, et en second lieu la fonte, qui offrent le plus de facilités pour obtenir une paroi étanche et surtout le plus de ressources pour les réparations, dans le cas où le terrain vient à faire quelque mouvement par suite des travaux d'exploitation. Le puits de Carling, récemment foncé dans le département de la Moselle par M. Lévy, a été cuvelé en bois sur un diamètre intérieur de 4 mètres jusqu'à une profondeur de près de 150 mètres et en n'employant que trois répétitions de pompes. C'est le cuvelage le plus profond à ma connaissance. Le travail a parfaitement réussi sans qu'on ait été obligé d'employer des bois de dimensions inusitées, moyennant la précaution de munir les dernières reprises d'une armature en fonte, disposée comme celles qui ont été déjà établies dans le département du Nord pour renforcer des cuvelages trop faibles.

Les procédés de fonçage dont je viens de rappeler les traits principaux peuvent devenir insuffisants, soit lorsque l'affluence des eaux est excessive, soit lorsque les terrains sont trop coulants, soit enfin lorsque ces deux circonstances d'abondance d'eau et de terrains coulants se présentent réunies, surtout si le fait se produit à une grande profondeur.

C'est ainsi qu'en Belgique la partie nord du bassin de Mons et la partie sud du bassin du Centre entre Mons et Charleroi, sont restées jusqu'à ce jour inexploitées, et ont été considérées en quelque sorte comme inaccessibles, moins à cause de l'épaisseur des *morts-terrains*, qu'à cause de l'existence de sables coulants et aquifères à la base de ces terrains.

Voyons quels sont les moyens dont le mineur peut disposer pour ces circonstances exceptionnelles.

Dans le cas de terrains coulants voisins de la surface, on peut employer les tours mobiles en maçonnerie, suivant le système usité en Silésie et dans le bassin de la Ruhr, ou bien substituer à la maçonnerie des cylindres en tôle ou en fonte, comme l'ont fait M. Triger dans le département de Maine-et-Loire, M. Piot dans les environs d'Aix-la-Chapelle, etc.

Si les terrains meubles sont en même temps très-aquifères, et ne dépassent pas 25 à 30 mètres d'épaisseur, et si, soit pour faciliter l'enfoncement du tube, soit après l'enfoncement, pour rendre le bas de la colonne étanche, on veut pouvoir travailler dans le puits sans recourir à des moyens d'épuisement coûteux à installer et à maintenir en activité, on recourra très-convenablement à l'emploi de l'air comprimé imaginé par M. Triger.

Ce système est devenu maintenant très-pratique, non-seulement pour le fonçage des puits, mais encore pour certains travaux du génie civil, tels que les fondations des piles de ponts.

Si ces terrains meubles se rencontrent dans la profondeur, on a l'emploi soit des *trousses coupantes* surmontées d'un cuvelage en bois telles qu'on les applique dans le Nord, soit des tubes métalliques enfoncés par choc ou par pression, ou par les deux moyens combinés, comme on l'a pratiqué dans des

puits du bassin du centre en Belgique. Mais alors on n'aura plus en général la ressource de l'air comprimé pour faciliter le travail de l'enfoncement, ou pour compléter la fermeture du pied de la colonne.

Il est bon cependant de remarquer que si ce moyen devenait absolument indispensable pour continuer un fonçage, on pourrait encore y recourir au moyen d'un artifice particulier.

Cet artifice consisterait à foncer en même temps deux puits voisins, ainsi qu'il y a d'ailleurs convenance à le faire pour la sécurité, lorsqu'il s'agit de créer sur des couches à grisou un centre d'exploitation destiné à rester isolé pendant longtemps. Il est clair que si ces deux puits sont, à un moment donné, à peu près à la même profondeur, il suffira en général de tenir les eaux basses dans l'un d'eux pour que l'on puisse en même temps faire emploi de l'air comprimé au fond du second.

Par l'application de ces divers artifices combinés avec des moyens d'épuisement suffisants, on parviendra en général à surmonter les difficultés qui résulteront soit de l'affluence des eaux, soit de la nature éboulense des terrains.

Il reste cependant deux cas exceptionnels à considérer, qui demanderont des dispositions spéciales.

Le premier cas est celui où l'abondance des eaux serait telle que tous les moyens d'épuisement susceptibles d'être installés dans un puits d'une section limitée deviendraient insuffisants.

Dans ce cas, le moyen auquel on devrait recourir serait celui que M. Kind a employé le premier dans le département de la Moselle, et qui consiste à exécuter le puits sans aucun épuisement et comme un sondage d'un grand diamètre. M. Kind a créé pour ces travaux tout un système d'outillage qui résout parfaitement la question du fonçage dans tous les terrains assez solides pour que les parois puissent se maintenir jusqu'à ce qu'on ait pénétré dans le terrain imperméable qui doit servir de base au cuvelage. On remarquera d'ailleurs que ne faisant aucun épuisement pendant le fonçage, les parois se maintiennent beaucoup mieux que dans le cas où l'on travaille en battant les eaux. M. Kind a créé également les moyens de descendre le cuvelage tout d'une pièce sous l'eau jusqu'au fond du puits; de sorte qu'il ne resterait plus ensuite, en supposant les joints et la base du cuvelage suffisamment étanches, qu'à vider une fois pour toutes la colonne du puits et à continuer ensuite le travail à la manière ordinaire dans le terrain imperméable.

Il faut dire cependant que deux fonçages ainsi entrepris dans la Moselle n'ont pas réussi. Une fois le cuvelage descendu, il a été impossible de battre les eaux jusqu'à fond, soit que le cuvelage ait cédé sous la pression de l'eau, soit que la base n'ait pas été étanche. On comprend bien qu'alors on ait pu avoir à lutter contre une quantité d'eau beaucoup plus considérable que si l'on avait foncé par les procédés ordinaires, puisqu'on a reçu *à la fois* l'eau des divers niveaux qu'on n'aurait eue que *successivement* dans le travail de l'avaleresse ordinaire, et dont on se serait débarrassé au moins partiellement au moyen de trousses picotées. Ce double échec a fait renoncer à l'emploi du système Kind dans la Moselle, et tous les puits foncés depuis lors dans ce département l'ont été exclusivement par les procédés ordinaires.

Toutefois la question a continué d'être à l'étude sur d'autres points, dans la Ruhr et en Belgique, et dans ces derniers temps elle a été résolue avec succès par M. Chaudron habile ingénieur belge. Cet ingénieur, adoptant presque sans modification les procédés de fonçage et de descente du cuvelage imaginés par M. Kind, a substitué un revêtement en fonte au cuvelage que M. Kind avait établi en pièces de bois placées verticalement et assemblées comme les douves d'un tonneau. De plus, il a imaginé une disposition très-simple et en même temps très-efficace, ainsi que l'expérience l'a prouvé, pour obtenir une assise imperméable. Cette disposition consiste essentiellement en une garniture de mousse comprise entre deux collets extérieurs, ménagés l'un à la base du cuvelage, l'autre au bas d'un tube placé à l'intérieur du cuvelage et qui vient reposer sur le fond du puits préalablement nivelé. C'est le poids même du cuvelage qui comprime la mousse ; une disposition analogue à celle des boîtes à étoupes ou des pistons à garniture de chanvre des machines à basse pression, a pour effet de donner à la force de compression une composante horizontale qui applique la mousse contre le terrain en même temps qu'elle la comprime entre les deux collets.

Par cet heureux perfectionnement, le système Kind semble désormais acquis à la pratique; et il y a lieu de croire qu'on arrivera à l'appliquer avec une grande économie de temps et d'argent dans tous les cas où l'on aura à traverser des terrains à la fois aquifères et suffisamment résistants, comme ceux du bassin houiller de la Moselle. Telle était depuis longtemps la

prévision de beaucoup d'ingénieurs expérimentés, malgré les premiers échecs du système, et cette prévision paraît aujourd'hui devoir se réaliser.

Le deuxième cas dont je veux parler ici est celui où l'on rencontre en profondeur et sur une *assez grande épaisseur* des terrains à la fois *très-aquifères et très-coulants*. Ce cas est le plus difficile qui puisse se présenter. Il exclut absolument l'emploi de tout mode de travail dans lequel interviendrait l'épuisement; car la nature fluide du terrain ferait qu'on *l'épuiserait*, en quelque sorte, en même temps que l'eau, sans pouvoir faire avancer l'approfondissement, et en déterminant dans le terrain des mouvements désordonnés qui ne permettraient pas l'enfoncement régulier d'un tubage.

Il faudra donc travailler sous l'eau, ou, selon l'expression consacrée, *à niveau plein*, se contentant d'enfoncer des tubes par le haut et de draguer à l'intérieur. Mais l'emploi de ce système est nécessairement limité. La résistance à l'enfoncement croît rapidement avec la longueur du tube; elle augmente encore par le fait même du dragage qui, malgré toutes les précautions, ne peut manquer de déterminer des mouvements dans toute la masse.

C'est pour ce cas extrême que M. Guibal, professeur à l'école des mines de Mons, a projeté et appliqué avec succès, quoique non sans avoir à lutter contre des difficultés de détail très-sérieuses, un système tout à fait spécial, dont il me reste à faire connaître le principe.

M. Guibal s'est proposé par-dessus tout d'éviter par tous les moyens de mettre en mouvement la masse du terrain coulant; de n'extraire qu'une masse de déblais aussi réduite que possible, et enfin d'avoir à enfoncer une colonne mobile d'une longueur *limitée*, *indépendante de la hauteur du terrain coulant*.

L'appareil consiste essentiellement en une sorte de bouclier en fonte placé horizontalement au fond du puits et formant la base d'un anneau mobile qui entoure comme une sorte de fourreau le revêtement fixe du cuvelage, lequel s'allonge de haut en bas par l'addition de cadres placés jointivement *les uns au-dessous des autres*. C'est sous les pièces du dernier cadre mis en place qu'on prend le point d'appui pour enfoncer dans le terrain une trousse coupante qui termine par le bas l'anneau mobile. L'effort est produit par le jeu de presses hydrauliques distribuées sur le pourtour du puits et alimentées par

une pompe foulante placée au jour. Pendant la manœuvre de l'enfoncement de la trousse coupante le puits est plein d'eau, et il y a ainsi équilibre sur les deux faces du bouclier. On vide le puits lorsque l'enfoncement est suffisant pour qu'on puisse descendre et mettre en place un nouveau cadre du cuvelage.

Le centre du bouclier est percé d'une sorte de trou d'homme par lequel on introduit les outils qui servent à diviser au besoin et à extraire le terrain, au fur et à mesure que l'enfoncement se poursuit. Le trou d'homme est d'ailleurs surmonté d'une colonne de tuyaux qui s'élève jusqu'au-dessus du niveau naturel des eaux; de sorte que toutes les manœuvres se font sans qu'il y ait jamais réduction de la pression de l'eau sous le bouclier, condition indispensable pour empêcher le terrain de se mettre en mouvement : cette colonne est munie de robinets qui permettent de remplir à volonté la colonne du puits, qu'on vide ensuite à la benne lorsqu'il s'agit de placer un nouveau cadre. Tel est le principe de la méthode, dont l'application a été décrite avec détails dans diverses publications, notamment dans le *Bulletin de l'industrie minérale de Saint-Étienne* et dans la *Revue universelle de Liége*. Cette méthode constitue un perfectionnement d'un très-grand intérêt pour le cas spécial en vue duquel elle a été étudiée.

On peut dire aujourd'hui qu'en ajoutant aux procédés usuels le système Triger, le système Kind complété par M. Chaudron et le système Guibal, ni l'épaisseur des morts-terrains, ni leur nature plus ou moins coulante, ni l'importance de leurs niveaux ne constituent plus d'obstacles contre lesquels le mineur soit désarmé. Sauf les difficultés et les accidents de chaque application, il est permis désormais d'aborder l'attaque d'un bassin houiller quelle que soit la nature des morts-terrains qui le recouvrent.

C'est là un résultat nouveau, d'une grande importance, et très-digne d'appeler l'attention de toutes les personnes intéressées dans l'exploitation des mines.

§ III. *Installation permanente des puits d'extraction.*

Les nombreux puits d'extraction établis dans ces dernières années, principalement dans les bassins houillers du nord de la France, de la Belgique et de la Ruhr, ont été outillés d'une

manière beaucoup plus large et plus complète qu'on ne le faisait il y a une vingtaine d'années sur le continent.

On s'est rapproché des dispositions depuis longtemps adoptées dans le bassin de Newcastle, où la production est souvent portée pour un seul puits à 500 ou 600 tonnes et plus par poste. Le puits n° 12 des mines du Grand-Hornu dans le bassin de Mons a été, sur le continent, l'un des premiers exemples de ces grandes installations. La description complète en a été donnée par M. Glépin, dans les *Annales des mines*.

L'ouvrage récent de M. A. Burat, sur le matériel des houillères, donne divers autres exemples qui peuvent être utilement consultés.

Le type qui prévaut aujourd'hui, et qui se trouve reproduit en Belgique, dans le nord de la France, dans la Moselle, à Ronchamp, à Blanzy, à Rive-de-Gier, etc., présente les caractères généraux suivants :

1° Puits de grande dimension, à section circulaire et d'environ 4 mètres de diamètre;

2° Machine d'extraction d'un grande puissance (au moins 80 à 100 chevaux, souvent 150 et plus), à cylindres horizontaux conjugués, sans engrenages, à haute pression, à simple détente par avance et recouvrement, et sans condensation, avec changement de marche par la coulisse Stephenson; volant léger placé entre les deux bobines et ayant plutôt pour objet de recevoir un frein que de régulariser le mouvement de rotation; frein à vapeur et petit cheval alimentaire spécial;

3° Emploi de cages recevant les chariots qui ont été chargés à la taille et viennent se vider au jour, de manière à éviter tout transbordement; guides fixes en bois; parachutes variés, parmi lesquels le parachute Fontaine est encore aujourd'hui le plus usité; dispositions diverses pour éviter de porter les cages aux poulies; câbles plats en chanvre ou en aloès, *diminués*, c'est-à-dire à section décroissante, lorsque la profondeur du puits est considérable;

4° Dispositions de recettes extérieures à plusieurs niveaux, ayant pour objet de recevoir simultanément les chariots des divers étages de la cage, afin d'éviter le temps qui se trouve perdu par les manœuvres de la machine, lorsque la réception des chariots doit se faire successivement à un seul et même niveau; emploi de balances, soit à simple effet avec contre-poids, soit à double effet, pour amener les chariots pleins au niveau du plâtre, et pour relever les chariots vides au niveau des étages supérieurs de la cage;

5° Emploi de culbuteurs fixes, ou mieux mobiles, pour vider les chariots avec le moins de main-d'œuvre possible, et dispositions diverses pour la classification spontanée des matières et leur chargement direct en charrettes ou en wagons.

Arrêtons-nous un instant sur ces divers points qui donnent lieu à quelques observations.

Pour ce qui est du puits même, la forme circulaire a, d'après plusieurs ingénieurs, l'inconvénient de moins bien utiliser une section d'une étendue donnée que la forme rectangulaire. Cela est incontestable; mais d'un autre côté la forme circulaire est mieux appropriée à l'emploi du muraillement, lequel est bien préférable au boisage lorsque le terrain est éboulueux, ou peut devenir tel avec le temps, et que le puits doit avoir une longue durée; elle est d'ailleurs presque indispensable lorsque le puits doit recevoir un revêtement étanche soumis à une forte pression. Je crois donc que cette forme mérite, dans le plus grand nombre des cas, la préférence qu'on lui accorde aujourd'hui presque exclusivement en France et en Belgique.

Pour la machine d'extraction, le type à deux cylindres conjugués, avec emploi d'un volant léger, a l'incontestable avantage d'éviter les points morts, et de donner ainsi un appareil qui est toujours bien dans la main du mécanicien, et se manœuvre avec facilité et avec précision. C'est donc avec grande raison que ce système prévaut aujourd'hui. Rien n'empêche d'ailleurs de combiner l'emploi des machines conjuguées, soit avec des cylindres verticaux comme M. Glépin l'a fait au Grand-Hornu, soit avec celui d'un engrenage, comme il en existe dans toutes les anciennes machines. On peut même se demander, dans ce dernier cas, si la simplification qu'on a recherchée, en supprimant cet intermédiaire entre l'arbre du volant et celui des bobines, n'est pas *achetée trop cher*. Il est certain, en effet, qu'en faisant attaquer directement l'arbre des bobines par les bielles motrices, on est obligé de diminuer le nombre des coups de piston par minute; ce qui, pour une force donnée à développer, conduit à augmenter les dimensions du cylindre. On a ainsi des machines plus volumineuses, plus chères et aussi dans lesquelles, par suite des grandes dimensions des tiroirs, les manœuvres à la main se font avec plus de fatigue pour le

mécanicien. On est donc entré, avec ce type de machines, dans une voie précisément inverse de celle que beaucoup de personnes suivent aujourd'hui dans les autres applications des machines à vapeur, pour lesquelles prévaut de plus en plus le système des machines légères et rapides. Il n'est donc nullement certain qu'on ne revienne pas un jour à l'emploi des engrenages, qui ne présenteront d'ailleurs aucune cause spéciale de danger, si l'on prend la précaution de placer un frein de réserve sur l'arbre des bobines, indépendamment de celui qui fonctionnera habituellement sur le volant de l'arbre à manivelles.

Une autre observation est relative à la force donnée aux machines. Il est bon sans doute de calculer cette force assez largement; car il ne faut pas que ce soit l'insuffisance de la machine qui empêche de faire une sortie aussi importante que peut le permettre le développement des chantiers. Mais il faut prendre garde aussi de dépasser le but, et je dois dire que l'observation m'a montré qu'on l'avait souvent dépassé dans ces derniers temps. Or ce qui résulte nécessairement de l'emploi de cylindres à vapeur disproportionnés, c'est l'obligation de n'y faire fonctionner la vapeur qu'à une pression effective très-faible, circonstance éminemment défavorable, ainsi que je l'ai dit plus haut, au point de vue de l'économie du combustible, toutes les fois que la machine marche sans condensation. Cette remarque peut expliquer pourquoi dans beaucoup de houillères très-bien installées, notamment dans la Ruhr et dans le bassin de Newcastle, on persiste à employer des machines condensantes. Je crois néanmoins qu'on peut très-bien supprimer l'attirail assez compliqué et d'un entretien assez assujettissant qu'entraîne la condensation, et se borner aux machines à haute pression, à condition qu'elles marchent effectivement *à haute pression*, c'est-à-dire que, pour la stérile satisfaction d'avoir une machine d'une grande puissance, on ne soit pas obligé d'étrangler outre mesure la prise de vapeur, et de marcher à une pression effective souvent inférieure à une atmosphère, comme j'ai eu quelquefois l'occasion de le constater. La conséquence d'un semblable état de choses est nécessairement de doubler, de tripler même la consommation de combustible. C'est une chose à éviter, quel que soit le peu de valeur qu'on veuille attribuer sur une houillère au combustible employé.

Quant à l'élévation au jour des chariots qui vont des tailles à l'envoyage, elle présente de si nombreux et de si évidents avantages sur l'ancien système d'extraction par des bennes ou cuffats, qu'il est inutile d'insister sur un point qui est, je pense, universellement admis aujourd'hui. On peut hésiter seulement entre l'emploi de charges légères élevées à grande vitesse et celui de charges très-lourdes élevées plus lentement. Je pense que la première solution doit être préférée. Elle permet d'avoir des câbles plus légers, de réduire le plus souvent à deux le nombre des étages de la cage, et par conséquent de faire tout le service simultanément aux deux planchers correspondants de la recette, sans aucune manœuvre de machines; enfin elle rend moins solidaires l'un de l'autre le service du roulage intérieur, celui de l'extraction et celui des mouvements au jour. Des cages à deux étages, recevant à chaque étage deux wagons de 400 à 500 kil. de charge, seront plus que suffisantes. En les faisant circuler avec des vitesses de 5 à 6 mètres par seconde, ou même au besoin de 7 à 8 mètres, comme cela a lieu fréquemment dans les mines de Newcastle, on réalisera une extraction aussi forte qu'on ait obtenue jusqu'à ce jour. Si, pour fixer les idées, nous supposons un charge utile de 2000 kil. élevés à une vitesse de $7^{m},50$ par seconde, cela correspond à une force théorique de 200 chevaux. C'est déjà une force considérable, qui se prête néanmoins encore très-bien à toutes les manœuvres, mais qu'il ne faudrait pas trop dépasser.

Des guides fixes en bois conviennent mieux que des guides en câbles de fil de fer à une extraction rapide, ainsi qu'à l'emploi de parachutes. On a cependant employé de ces câbles jusqu'à plus de 200 mètres; mais il faut au moins ralentir au point de croisement. On a aussi imaginé des parachutes destinés à agir sur des guides en câbles; mais l'expérience n'a pas encore prononcé sur leur efficacité.

Quant aux câbles d'extraction, ils sont souvent en fil de fer lorsqu'ils sont ronds; mais en France et en Belgique, ils sont presque toujours en chanvre ou en aloès lorsqu'ils sont plats. Plusieurs causes, parmi lesquelles on doit mentionner l'action exercée par les fabricants de câbles, ont contribué à maintenir jusqu'ici cet état de choses. Dans le bassin de Newcastle, au contraire, on emploie depuis longtemps presque exclusivement le fil de fer, et l'on a commencé avec succès à employer le

fil d'acier, qui comporte un poids courant presque moitié moindre. Cette question des câbles mérite d'appeler l'attention très-sérieuses des exploitans; car ces câbles forment un article de dépense important, dans les puits profonds, surtout dans ceux qui servent à la sortie de l'air, et où l'air chaud et vicié qui a parcouru les travaux détruit rapidement, en quelques mois, les câbles formés de matières végétales.

On a reproché aux câbles métalliques de ne pas *avertir*, comme les câbles en chanvre, du degré d'altération auquel ils sont arrivés, et d'exposer ainsi la vie des hommes, lorsque la descente et la remonte s'effectuent par des cages. C'est là un motif d'une nature telle qu'il ne permet guère un libre examen de la question. Je crois cependant que l'expérience ne le confirme pas. Sans citer l'exemple des mines de Newcastle, où l'on pouvait être tenté de croire que la fabrication des câbles de fil de fer, telle qu'elle est installée, par exemple, dans le grand établissement de MM. Newall et compagnie à Gateshead, se fait dans de meilleures conditions qu'autre part, il ne paraît pas qu'en France les mines, très-nombreuses déjà, où l'on emploie exclusivement les câbles ronds en fil de fer, aient été le théâtre d'un plus grand nombre d'accidents que les autres. D'ailleurs l'emploi de plus en plus répandu de parachutes, d'un jeu sûr et efficace, ôte beaucoup de valeur à l'objection.

Je ne crains donc pas d'appeler sur cette question des câbles l'attention de tous les exploitans, et d'affirmer que tout au moins ceux dont les ouvriers ne descendent pas par les cages ne doivent point hésiter à employer exclusivement les câbles métalliques. Ils y trouveront une économie très-importante, s'ils font cet emploi d'un manière rationnelle, je veux dire en réduisant, dans la mesure que la matière employée comporte, le poids du câble par mètre courant. Le poids d'un câble en fil de fer peut certainement ne pas dépasser la moitié ou le tiers de celui d'un câble en chanvre de même force; le prix du kilogramme n'est pas plus élevé, et la durée peut être beaucoup plus grande, si l on a soin de tenir le câble constamment bien goudronné et d'éviter qu'il se noue dans les manœuvres de la machine d'extraction. Il ne paraît pas d'ailleurs que les câbles plats en fil de fer aient besoin de molettes plus grandes que les câbles en chanvre; car si les premiers sont formés d'éléments moins souples, l'épaisseur totale du câble est par contre beaucoup moindre.

On pourra également, en les adoptant, et afin de ne point mettre en jeu au delà de limites convenables leur résistance vive élastique, employer certaines dispositions connues qui ont pour objet d'éviter les secousses au départ, telles qu'une boîte à ressort à boudin interposée entre le bout libre du câble et la cage, ou la disposition plus récemment proposée par M. Guibal qui consiste à placer les molettes sur un support élastique.

Je mentionnerai encore une disposition connue depuis longtemps et qui a été reproduite récemment pour rendre à volonté l'une des bobines folle sur son arbre. C'est un artifice très-commode, lorsqu'on doit changer d'accrochage à plusieurs reprises dans la journée. On règle ainsi rapidement et avec précision, selon les besoins, la longueur de chaque câble, qui n'est plus exposé à se nouer, comme cela peut arriver lorsqu'il a un grand excès de longueur. En outre on évite un inconvénient inhérent aux câbles de longueur invariable, qui est d'employer pour les divers accrochages le même temps de manœuvre que pour le plus profond.

Les balances que l'on emploie aujourd'hui assez généralement pour ramener à un même niveau, les wagons reçus au jour aux divers étages d'une cage et réciproquement, peuvent également être et sont en effet souvent appliqués pour le même objet aux places d'accrochage. D'autres fois il existe à la place d'accrochage deux galeries qui correspondent à chacun des étages, et chaque galerie reçoit les produits d'un quartier spécial de la mine. Toutefois comme il n'arrivera pas en général que ces deux quartiers fournissent simultanément des quantités précisément égales, ce qui empêcherait de marcher à pleine charge, on met les deux recettes en relation l'une avec l'autre au moyen d'une galerie ayant une pente totale égale à leur différence de niveau; mais cela oblige à des manœuvres assez embarrassantes, et il vaut mieux en général que tous les produits arrivent par une galerie unique, de niveau avec l'étage supérieur de la cage, et soient descendus ensuite au moyen d'une ou deux balances au niveau des divers étages inférieurs. On a tout le temps nécessaire pour ces manœuvres accessoires pendant que les cages circulent dans le puits.

Enfin pour ce qui est des manutentions que subissent les produits depuis l'instant de leur arrivée au jour jusqu'à celui de leur expédition, il est bien clair qu'il est très-facile de dis-

poser les choses pour les faire avec une grande économie de main-d'œuvre ; l'essentiel est de placer la recette à un niveau suffisamment élevé, 4 ou 5 mètres au moins au-dessus du sol, pour qu'après le culbutage des chariots, les classements de grosseur et les chargements se fassent en quelque sorte d'eux-mêmes par l'action de la gravité, qui fera cheminer les matières sur des systèmes de grilles inclinées ou de couloirs superposés. Cela est facile à concevoir et a été en effet résolu de diverses manières.

Il faut prendre garde seulement, et c'est un point de vue qu'on a quelquefois eu tort de négliger, de ne pas payer trop cher cette apparente simplification de travail.

Un pareil classement ne se fait jamais sans occasionner un notable déchet sur le gros ; il n'est jamais complet et ne permet qu'un tirage assez imparfait.

Si donc on opère sur des houilles friables et schisteuses, s'il y a entre le prix du gros et du menu une très-grande différence, si l'acheteur est exigeant sur la propreté du charbon qui lui est livré, il est fort possible qu'il y ait avantage réel à *ne pas employer* ces moyens expéditifs de classement et de chargement, et à prodiguer à dessein, en quelque sorte, la main-d'œuvre, pour obtenir un meilleur travail.

Dans un bassin houiller où la concurrence entre les producteurs sera très-développée, on ne devra pas perdre de vue ces considérations ; et il conviendra d'être très-circonspect dans l'introduction de procédés qui peuvent avoir pour conséquence une dépréciation des produits supérieure à l'économie réalisée sur la main-d'œuvre.

Ce qui précède se rapporte aux dispositions qui sont le plus généralement en usage aujourd'hui ; on doit reconnaître que ces dispositions constituent un ensemble satisfaisant, qui répond très-bien aux principales conditions à remplir, du moins tant que l'exploitation des mines n'aura pas à être portée à des profondeurs beaucoup plus grandes qu'aujourd'hui. On peut dire qu'avec un puits ainsi installé, les moyens d'extraction seront généralement au moins égaux à la puissance de production du champ d'exploitation.

Il n'est pas douteux d'ailleurs que le système d'extraction par câbles ne doive être préféré aux appareils mécaniques plus ou moins complexes proposés jusqu'à ce jour, tels que la machine Méhu, qui a cessé de fonctionner tant aux mines d'Anzin

où elle a été d'abord placée, qu'aux mines de Ronchamp qui en a eu deux en activité à la fois.

Ne considérant donc que l'emploi des câbles, j'ajouterai seulement quelques mots sur diverses modifications qui ont été récemment appliquées ou proposées, en vue de remplir certaines conditions particulières :

1° L'expérience indique que des deux câbles plats en service sur un puits, celui dont l'enroulement sur la bobine se fait *par-dessous* a la moindre durée. Cela s'explique par l'excès de fatigue résultant de ce que chaque élément du câble est obligé de se plier successivement *dans un sens* au passage sur la molette, et *en sens contraire* à l'enroulement sur la bobine. M. Colson a proposé un système de machine d'extraction qui fait disparaître cet inconvénient. La disposition est exactement celle qu'applique le même ingénieur pour faire mouvoir le ventilateur Fabry. Les deux roues à ailes du ventilateur deviennent ici les deux bobines qui se trouvent ainsi tourner en sens contraire l'une de l'autre. Les câbles passent l'un et l'autre au-dessus de leurs bobines ; l'un d'eux s'enroule quand l'autre se déroule, et pour chacun d'eux le sens de la flexion est le même tant sur la molette que sur la bobine.

Il est bon de remarquer qu'un résultat semblable pourra être obtenu lorsqu'on le jugera utile, quelle que soit la disposition du moteur, en établissant un arbre spécial pour chaque bobine ; l'un des arbres sera attaqué directement par les bielles de la machine et commandera l'autre au moyen d'un système de deux roues dentées d'égal diamètre.

Il est d'ailleurs douteux que le résultat à obtenir vaille la peine de compliquer ainsi la machine d'extraction.

2° M. Quillacq, habile constructeur de Valenciennes, a cherché à simplifier la construction des charpentes qui portent les molettes, ou même à supprimer entièrement celles-ci par diverses dispositions sur le mérite desquelles l'expérience n'a pas encore prononcé.

3° M. Lemielle, ingénieur civil à Valenciennes, s'est préoccupé de l'inconvénient qui résulte pour les puits très-profonds de l'irrégularité dans la résistance à vaincre pendant l'élévation d'une cage, et il a proposé pour y remédier l'emploi d'un câble unique fonctionnant comme chaîne sans fin. Ce câble jouit évidemment de la propriété d'être constamment en équilibre ; de sorte que la résistance est à chaque instant

précisément égale au poids utile à élever. La machine se compose de deux cylindres verticaux conjugués fixés au chevalement même et attaquant directement, au moyen de bielles et de manivelles, l'arbre horizontal portant la poulie sur laquelle passe le câble. M. Lemielle admet, et cela est en effet assez vraisemblable, que l'adhérence résultant du poids total du câble et du poids des deux cages, des wagons et de la charge utile, suffira pour empêcher le glissement sur la jante de la poulie. L'auteur réclame pour sa disposition, qui d'ailleurs n'a pas encore reçu la sanction de l'expérience, le même avantage recherché par M. Colson, et en outre ceux d'une grande simplification des organes et d'une résistance parfaitement régulière.

§ IV. *Moyens employés pour la circulation des ouvriers.*

Sans entrer dans aucun détail sur le cas où les ouvriers entrent dans une mine, soit par des galeries plus ou moins inclinées, soit par des escaliers ou des échelles fixes, il y a lieu de remarquer ici que les perfectionnements apportés aux appareils d'extraction dont il a été question au paragraphe ci-dessus, ont en même temps un grand intérêt au point de vue de la sécurité, lorsqu'il s'agit de mines dans lesquelles les ouvriers sont descendus ou remontés par les câbles. Il n'y a nulle comparaison possible à ce point de vue entre les cages guidées et munies de parachutes que l'on installe aujourd'hui, et les bennes, grandes ou petites, dans lesquelles, ou même *sur le bord* desquelles, les ouvriers devaient venir se placer et effectuer ensuite le voyage avec l'obligation de se diriger eux-mêmes le long des parois, de veiller à ne pas accrocher l'autre benne au point de rencontre, etc.....

Toutefois on ne peut pas dire que même aujourd'hui tout danger ait disparu. Le câble peut rompre et le parachute ne pas fonctionner; la cage peut monter aux poulies malgré les dispositions prises pour prévenir cet accident, ou bien encore une fausse manœuvre mettre prématurément la cage en marche pendant que des hommes s'y placent ou en sortent, etc... En outre ces manœuvres pour l'introduction et la sortie d'un personnel nombreux prennent un temps notable, et réduisent l'importance de l'extraction. Cette dernière considération a d'autant plus de valeur qu'il s'agit de puits plus profonds, qui sont en général appelés à faire de fortes extractions, et où les pertes

de temps doivent être particulièrement évitées. Or, dans beaucoup de bassins houillers depuis longtemps en exploitation active, il faut songer à s'approfondir, et l'on peut prévoir qu'avant la fin de ce siècle beaucoup de puits devront atteindre des profondeurs de 600 à 700 mètres et plus. Il est clair que pour de semblables profondeurs l'emploi d'échelles fixes doit être regardé comme pratiquement impossible; il faudra donc employer des moyens mécaniques, mais des moyens spéciaux, indépendants de l'appareil d'extraction dont le service ne devra, à aucun prix, être entravé.

La solution qui semble indiquée est celle de l'*échelle mobile* connue en Allemagne sous le nom de *Fahrkunst*, et en Angleterre sous celui de *man-engine*. Il existe de ces appareils qui fonctionnent au Hartz depuis une trentaine d'années sous une forme très-simple; de là ils se sont répandus dans le Cornouailles, puis dans un grand nombre de centres d'exploitation en France, en Belgique et en Allemagne. En même temps, sur divers points, on les a établis dans des conditions de construction beaucoup plus complexes et plus dispendieuses que les premiers appareils, sans obtenir, il faut le reconnaître, un accroissement d'utilité proportionné à l'accroissement de dépense.

Pour que l'emploi de ces appareils se répande ainsi qu'il est désirable, il faut adopter un système simple, peu dispendieux, et en même temps assez peu encombrant pour qu'on puisse l'installer dans un compartiment d'un puits. Il est clair, en effet, qu'on hésiterait d'autant plus à consacrer à l'appareil un puits tout entier que ce puits serait plus profond et aurait coûté plus cher. La force motrice devra être habituellement la vapeur; mais il n'est nullement nécessaire d'employer, comme on l'a fait dans plusieurs cas, un système de machines à traction directe plus ou moins analogue à une machine d'épuisement. Une simple machine à vapeur de rotation pourra parfaitement au moyen du mécanisme ordinaire des bielles et des varlets, transmettre un mouvement alternatif aux tiges portant les planchers mobiles. Le mouvement sera ainsi plus doux et plus sûr pour les hommes qu'avec un mécanisme à cataracte. Que si l'on veut, en outre, être en mesure de donner aux tiges une grande excursion, on pourra recourir à l'artifice proposé récemment par M. Devaux, inspecteur général des mines de Belgique, et M. le professeur Guibal.

Cet artifice, décrit en détail dans les *Annales des travaux*

publics de Belgique, t. XIX, consiste à atteler sur la tige du piston de la machine à vapeur rotative qui est horizontale, le piston d'une pompe aspirante et foulante à double effet. Cette pompe est en relation avec deux cylindres placés verticalement sur le puits, et dans lesquels se meuvent deux pistons dont les tiges sont liées directement aux tiges de la Fahrkunst. La pompe aspire sous un de ces pistons, tandis qu'elle refoule sous l'autre. Quant à la course de ceux-ci, elle est théoriquement égale à celle de la pompe augmentée dans le rapport de la section du piston de cette pompe à celle des pistons verticaux, rapport dont on peut disposer à volonté sans sortir de dimensions parfaitement pratiques pour ces divers organes du mécanisme. On peut également limiter par des arrêts l'excursion des tiges et déterminer ainsi un temps de repos plus prononcé que celui qui résulterait du simple passage au point mort. Pendant ce temps de repos, la pompe continue son mouvement; mais l'eau refoulée s'échappe par une soupape de décharge qu'elle soulève au moment où les tiges buttent contre leurs arrêts. Ce système très-simple se recommande à l'attention des exploitants.

Une fahrkunst n'a en général à marcher qu'aux changements de poste, c'est-à-dire à des heures déterminées, et pendant un temps limité. Si elle est établie sur un puits d'extraction ou d'épuisement, on pourra presque toujours sans grand inconvénient, se dispenser de l'alimenter avec des générateurs spéciaux.

Il est bon d'ailleurs de remarquer que l'intermittence dans le jeu de la Farhkunst se prête à l'application d'une disposition très-usitée maintenant en Angleterre, où elle est connue sous le nom d'*accumulateur* (Armstrong's accumulator). M. Vidal, à qui l'on doit cette remarque, pense que l'on pourrait distraire à chaque instant une très-petite partie de la force dépensée par la machine d'extraction ou d'épuisement, et l'employer à refouler de l'eau sous le piston de l'accumulateur à telle pression que l'on jugerait convenable. On accumulerait ainsi une quantité de travail que l'on dépenserait ensuite, au moment voulu, sur une petite machine à colonne d'eau rotative, dans le genre de celles qu'établit M. Armstrong; et cette dépense se ferait sans apporter aucun trouble dans la marche de l'extraction ou de l'épuisement.

Une semblable disposition pourrait être utile, si la force exigée par le jeu de la Farhkunst, n'était pas une assez faible

fraction de celle que peut demander le service de l'extraction ou celui des pompes, et plus encore si la Farhkunst était placée sur un puits spécial, et n'avait pas de générateurs établis à sa portée. Dans ce dernier cas, en effet, il pourrait être onéreux d'installer et de maintenir en pression toute la journée un système de générateurs qui ne devrait fonctionner qu'à de rares et courts intervalles: on pourrait alors juger préférable d'emprunter la force nécessaire à une machine plus ou moins éloignée, de l'amener jusque sur le puits au moyen d'une conduite forcée, et de l'y emmagasiner, jusqu'au moment de l'emploi, sous le piston d'un accumulateur.

§ V. *Matériel d'exploitation et de roulage.*

En même temps que les procédés d'extraction se sont perfectionnés comme il a été dit plus haut, l'outillage et le matériel de roulage ont reçu dans ces dernières années diverses modifications plus ou moins importantes.

Pour le tirage à la poudre, l'emploi des étoupilles de sûreté s'est répandu de plus en plus. On a proposé et l'on commence à employer dans quelques mines des fleurets et des masses exclusivement en acier fondu, et des bourroirs en bois dont le but est d'éviter les accidents pendant le bourrage. Des expériences intéressantes de M. Lombard, ingénieur à Saint-Étienne, ont montré que les outils en acier, malgré leur prix de revient élevé, étaient d'un emploi économique; ils coûtent moins d'entretien et permettent au mineur de faire plus de travail que les outils ordinaires en fer chargé d'acier.

On a employé l'appareil de M. Ruhmkorpf, pour mettre le feu à la poudre, non-seulement pour les grands fourneaux de mine, mais même pour les coups de mines ordinaires. M. l'ingénieur des mines Houpeurt, directeur des mines de la Loire, s'en est servi avec succès dans un fonçage de puits à Saint-Étienne. Cet appareil a été très-goûté des ouvriers qui trouvaient une sécurité complète dans cette circonstance, que l'instant de l'explosion se trouvait déterminé d'une manière précise. On est, en outre arrivé, quoique d'une manière encore un peu complexe, et qui appelle des simplifications, à faire partir simultanément un certain nombre de coups de mine, et il est facile de comprendre que cette simultanéité presque absolue, impossible à réaliser, soit avec les cannettes ordinaires, soit avec les mèches de sûreté, est de nature à augmenter l'effet de chacun des

coups de mine, en ce sens qu'elle permet d'augmenter dans une certaine mesure la distance entre les divers trous de mine qui doivent détacher une masse de rocher d'une dimension déterminée.

Les procédés de boisage, quoiqu'ils paraissent peu susceptibles de modifications, en ont reçu une qui mérite d'être signalée, dans quelques mines du département du Nord. Je veux parler du système connu sous le nom de *Bottes*, qui est employé pour soutenir le toit le long des fronts de taille. Ce système imaginé par M. Dernoncourt, ingénieur aux mines d'Anzin, a été décrit par M. Dormoy, dans le t. XI des *Annales des mines*, 5e série. Il paraît susceptible d'être employé dans les couches de peu de hauteur exploitées par grandes tailles ou par gradins avec remblais, lorsque la nature du toit est telle que l'on peut ne pas laisser subsister les buttes au milieu des remblais. L'application en a été rendue plus commode par l'introduction d'un artifice connu consistant à poser le pied des bottes sur un petit tas de menu charbon, qu'il suffit de venir gratter avec la pointe du pic pour soustraire les bottes à la pression produite par l'affaissement du toit et les enlever ensuite sans difficulté.

Quant au matériel de roulage, l'expérience semble s'être prononcée aussi bien contre le matériel de dimensions très-restreintes (de 2 hectol. à 2 hectol. et demi), qu'on employait autrefois dans les couches minces du Nord, que contre un matériel trop grand, atteignant, par exemple, ou même dépassant un mètre cube.

Qu'un matériel trop petit ait des inconvénients au point de vue de la main-d'œuvre, et du rapport du poids utile au poids mort, c'est ce qui se comprend facilement, et qui explique en même temps l'accroissement successif de dimensions qu'a reçu le matériel employé dans les grands chemins de fer au transport de la houille et des marchandises. Mais il n'en est point d'un petit chemin de fer de mine, comme d'une grande ligne établie dans des conditions de tracé parfaitement régulières, et dont la voie est toujours entretenue en bon état.

Un chemin de fer de mine n'est souvent posé dans une galerie que pour quelques mois, quelques semaines ou même quelques jours; il serait inopportun de faire de grands frais pour éviter soit des courbes de très-petit rayon, ou même des coudes brusques, soit un profil plus ou moins irrégulier. Souvent en outre le gonflement de la sole sous la pression des piliers, dérange du jour au lendemain l'assiette de la voie, etc. Ce n'est pas à dire pour cela qu'il faille renoncer à poser des chemins de fer dans les mines; ils sont au contraire fort utiles, et on peut même dire indispensables, dès que le champ d'exploitation acquiert une certaine étendue. Mais il faut en même temps y faire circuler un matériel qui se prête aux conditions de leur établissement et de leur état d'entretien. Il faut que le rouleur puisse les manœuvrer facilement, non-seulement sur niveau, mais encore sur des pentes ou des rampes variables entre d'assez larges limites; il faut, s'ils viennent à dérailler, et le cas est fréquent, qu'il puisse les remettre promptement et sans secours sur la voie. En outre, il y a une grande convenance à employer au roulage, au lieu d'hommes faits, des jeunes gens ou même des enfants, non-seulement parce qu'on y trouve une économie directe, mais encore et surtout parce qu'on entretient ainsi une pépinière d'ouvriers habitués de bonne heure au séjour de la mine. Il faut donc un matériel proportionné à la force de ce personnel. Enfin, dans les couches minces ou dans les terrains peu solides, on a un très-grand intérêt à établir les galeries sur des dimensions aussi restreintes que possible.

Tels sont les motifs pour lesquels il n'y a point lieu de chercher, comme pour les grandes lignes de chemins de fer, à augmenter le matériel roulant employé sur les chemins intérieurs des mines.

Une charge de 400 à 500 kilogr., 600 kilogr. au plus, doit être considérée comme une limite qu'il ne conviendrait pas en général de dépasser.

Pour faciliter la circulation dans les courbes, on emploiera habituellement des roues folles sur l'essieu fixe, sauf peut-être pour de très-longs parcours.

Pour la manœuvre sur les plaques d'embranchement, ces roues seront à gorge ou bien munies d'un large rebord.

Pour diminuer la hauteur totale du wagon, soit en vue de la stabilité, soit à cause du peu de hauteur des galeries, on pourra employer la disposition proposée par M. Cabany, et appliquée aujourd'hui sur une grande échelle aux mines d'Anzin, laquelle consiste à courber les essieux au-dessous de la caisse, dont le fond peut ainsi descendre jusqu'à une petite distance au-dessus de la voie. Cet essieu peut être d'ailleurs, soit

en une seule pièce, soit avec des fusées rapportées, dont l'emploi a pour objet de rendre les réparations plus promptes et plus faciles, mais peut-être aussi plus fréquentes.

Quant à la caisse du wagon, on peut l'établir soit en tôle, soit en bois, et dans ce dernier cas lui donner une section rectangulaire ou elliptique. La forme elliptique donne lieu à une construction plus solide; mais elle diminue notablement la capacité pour une *largeur* et une *hauteur données*. Il ne paraît pas que l'expérience ait encore prononcé sur ce point, et l'on construit presque indifféremment, soit des berlines en tôle, comme à Liége, soit des wagons à caisse rectangulaire en bois, comme dans la plupart des mines du Nord, soit des bennes à roulettes, comme dans les mines de la Loire et du Gard. Il y a encore là à résoudre une question intéressante pour la pratique, et il est fort possible que la solution doive différer selon les circonstances locales.

La voie des chemins de mine a été établie suivant des systèmes très-variés. On s'accorde généralement aujourd'hui à rejeter l'emploi de la fonte et les trammroads. Le plus souvent on emploie de simples barres de fer posées de champ, et maintenues au moyen de coins dans des entailles pratiquées sur la face supérieure des traverses. Cependant on emploie aussi, principalement dans les grandes voies de roulage, et avec avantage pour le maintien de la bonne assiette de la voie, des rails Vignoles à petite section maintenus sur chaque traverse par des crampons. On commence également à employer dans le Nord des traverses en fer avec des coussinets coulés sur les traverses et faisant corps avec elles. Ce système est recommandé particulièrement pour les chemins de fer qui doivent être souvent déplacés, parce qu'il en rend la levée et la pose promptes et faciles. On suppose d'ailleurs que bien qu'il soit plus coûteux de premier établissement, il présente à l'emploi une certaine économie sur les traverses en bois, à cause des remplacements nombreux que celles-ci comportent. Ce système est encore d'un usage trop récent et trop restreint pour qu'on soit fixé sur sa valeur pratique.

Quant aux moyens à employer pour les changements de voie, on peut se rapprocher des dispositions usitées sur les grandes lignes, lorsqu'il s'agit de voies posées à demeure dans des galeries principales sur lesquelles les wagons circulent par convois; mais pour le détail de la répartition des wagons entre

les divers chantiers d'un même quartier de mine, et pour les coudes brusques que présente un réseau de galeries, le système le plus commode et le plus pratique, quand on a satisfait à la condition d'avoir un matériel suffisamment maniable, est l'emploi de plaques d'embranchement en fonte ou en bois recouvert de feuilles de tôle.

C'est la disposition que l'on emploiera également, soit à la place d'accrochage, soit à la recette du jour. Je signalerai, en terminant ces observations relatives aux moyens de transport dans les mines, l'emploi des machines à vapeur et des câbles pour faire circuler les wagons, non-seulement dans les puits verticaux ou les plans inclinés ascendants, mais encore dans les galeries de roulage ordinaires.

Ce système, assez usité maintenant dans les mines de Newcastle, a déjà fait l'objet de diverses publications, et notamment d'un mémoire de M. Baure inséré dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*. Son emploi suppose la réunion de plusieurs conditions, spécialement un vaste champ d'exploitation, et une disposition de travaux telle qu'on puisse réunir sur un point donné à une grande distance de la place d'accrochage, le produit d'un grand nombre de chantiers.

Dans la plupart de nos houillères on ne trouverait ni cette extrême régularité des couches ni cette grande solidité de terrains qui caractérisent le bassin de Newcastle, et je crois qu'il y aura habituellement convenance à se borner aux procédés ordinaires, c'est-à-dire à l'emploi de la force des hommes et des animaux.

§ VI. *Méthodes d'exploitation.*

Les méthodes d'exploitation ne comportent guère l'introduction de principes essentiellement nouveaux. Les principes généraux applicables aux différents gisements, selon les conditions de leur allure et de celle des terrains encaissants, ont été posés depuis longtemps; ce n'est que dans leur application même, plus ou moins complète, plus ou moins rationnelle, que peuvent consister les progrès à réaliser.

Sous ce rapport, il est permis de dire qu'il a été fait des progrès réels dans ces dernières années, spécialement pour l'exploitation des couches de houilles puissantes, comme il s'en rencontre fréquemment dans beaucoup de bassins du centre

et du midi de la France. Ces couches présentent des difficultés sérieuses, pour arriver à un enlèvement à peu près complet du charbon et pour éviter les incendies spontanés.

Le moyen le plus sûr de satisfaire à la fois à ces deux conditions paraît être d'employer des remblais sur une large échelle, et ce moyen se répand chaque jour davantage, malgré la dépense assez importante qui en résulte.

Le mode de travail devra consister en général à diviser la masse à exploiter soit en étages horizontaux d'une certaine hauteur, soit, pour les couches peu inclinées et nettement stratifiées, en étages parallèles à la stratification. Ces étages seront exploités successivement *en commençant par les étages supérieurs;* mais chacun d'eux sera pris au moyen d'une série de tranches superposées exploitées avec remblai *en commençant par les tranches inférieures.* Chaque tranche aura le plus souvent une hauteur de 2 à 3 mètres seulement; quelquefois on ira jusqu'à 5 mètres, mais en prenant la tranche en deux fois. Quant au nombre de tranches d'un étage, il devra être d'autant moindre que le charbon sera plus facilement inflammable, ou qu'on aura plus d'intérêt à empêcher l'écrasement des piliers. Rarement on donnera à un étage plus d'une vingtaine de mètres de hauteur, et l'on pourra descendre jusqu'à 6 ou 8 mètres à exploiter en trois tranches.

Chaque tranche devra être préparée aussi promptement que possible, et dépilée ensuite en battant en retraite à partir de la limite du champ d'exploitation, et, dans le cas d'un ouvrage en travers, de préférence en marchant en chaque point du *toit vers le mur* plutôt que du *mur vers le toit.* L'enlèvement de la seconde tranche se fera en montant sur les remblais de la première, et ainsi de suite. On aura soin d'extraire de la mine tous les schistes susceptibles de fermentation, et de ne remblayer qu'avec des matières entièrement dépourvues de cette propriété.

Enfin, dans le cas d'une inflammabilité excessive des charbons, on prendra la précaution de tracer la galerie principale de roulage en dehors du gîte, qu'on rejoindra de distance en distance par des traverses; de manière à parquer un incendie ou un échauffement qui viendrait à se manifester sur un point d'un étage en exploitation, tout en se réservant la possibilité de conserver les chantiers situés au delà de ce point.

Tel est le système qui se trouve appliqué aujourd'hui d'une manière très-méthodique et avec beaucoup de succès dans diverses exploitations du centre et du midi de la France, au Creuzot, à Aubin, etc ....

Nous mentionnerons encore ici, moins comme méthode d'exploitation proprement dit que comme moyen d'abatage, le système établi récemment dans la mine de sel de Varangeville (Meurthe), par les soins de M. l'ingénieur Pfetsch. Ce système consiste à substituer l'action dissolvante de l'eau au travail du pic pour faire les entailles dans les chantiers. L'eau douce est distribuée sur les divers points au moyen d'un réseau de conduites en fonte fixées vers le toit des galeries. Elle jaillit contre la masse et creuse de chaque côté du chantier une entaille étroite dont le maximum de profondeur se trouve au point même d'arrivée de l'eau et le minimum vers la sole de la galerie. L'eau saturée se rend au puisard d'où elle est reprise au moyen d'une pompe qui l'élève au jour pour être traitée par évaporation. L'introduction de ce système dans la mine de Varangéville a amené une économie considérable dans le prix de revient. Le seul inconvénient est que la production journalière d'un chantier est moins grande qu'avec le travail ordinaire au pic; il faut donc un plus grand développement de chantiers pour une production donnée. Mais c'est là un bien faible inconvénient, lorsque, ainsi qu'il en est à Varangeville, les galeries ne donnent lieu à aucun entretien.

Le principe du travail par l'eau a été emprunté par M. Pfetsch aux salines allemandes; mais la forme sous laquelle il l'a employé, l'application systématique qu'il en a faite à tous les chantiers, lui appartiennent en propre, et constituent un progrès fort important pour l'exploitation du sel gemme.

§ VII. *Appareils d'épuisement.*

J'ai dit précédemment en parlant du fonçage des avaleresses les modifications nombreuses et importantes qu'avaient reçues les appareils d'épuisement employés dans ces travaux.

Quant aux appareils établis à demeure pour l'assèchement des mines, ils sont au contraire restés à peu près stationnaires.

La machine à vapeur du Cornouailles à moyenne pression, très-large détente et condensation, telle qu'elle a été depuis longtemps étudiée et décrite par M. l'inspecteur général Combes, est encore aujourd'hui le type auquel on a recours,

lorsque la question d'économie du combustible est prédominante. La principale modification consiste en ce qu'on la fait souvent à traction directe, au lieu de la faire à balancier, ce qui ne change aucunement le mode d'action de la vapeur. Souvent aussi, mais à tort, on a trop négligé l'avantage résultant d'une large détente.

Si l'on veut employer une machine à colonne d'eau, le système établi par M. l'inspecteur général Juncker dans les mines de Huelgoat en Bretagne, est également un type qui a pu être *modifié* ultérieurement dans quelques détails, mais non *perfectionné* d'une manière importante. Le seul détail utile à noter serait peut-être la disposition de *piston plongeur* qui a été donnée quelquefois au piston moteur; cette disposition rend la visite de la garniture plus facile et la réparation plus prompte.

Pour ce qui est des pompes, on les fait généralement à piston creux pour le jeu inférieur et à piston plein pour les jeux supérieurs. On s'abstient également de donner à chaque jeu soit une hauteur trop grande, soit une hauteur trop faible. Rarement dépasse-t-on 70 mètres, et descend-on au-dessous de 55 mètres.

Une hauteur supérieure est considérée comme entraînant, à cause de la pression, des sujétions d'assemblage particulières; elle nécessite une marche plus lente, afin de diminuer l'influence de l'inertie de la colonne d'eau sur les organes de chaque répétition. Cette dernière considération est décisive aux yeux de beaucoup d'ingénieurs expérimentés, qui multiplient à dessein les répétitions afin de pouvoir donner un plus grand nombre de coups de piston par minute et réduire proportionnellement les dimensions des divers organes.

C'est en un mot transporter dans l'établissement des machines d'épuisement le principe qui prévaut maintenant dans beaucoup d'autres applications industrielles, et qui consiste, en considérant les deux facteurs dont le produit exprime le travail moteur à développer par unité de temps, à augmenter celui de la vitesse et à diminuer celui de l'effort.

Sans nier que ce principe ne puisse être avantageusement appliqué dans bien des cas, je crois qu'il ne doit l'être qu'avec beaucoup de modération quand il s'agit de l'épuisement des mines. Diminuer la hauteur des répétitions afin de marcher à plus grande vitesse, c'est augmenter dans un rapport inverse

le nombre de ces répétitions, et par conséquent des clapets, pistons et autres organes; c'est multiplier les occasions d'arrêt pour renouvellement des garnitures, augmenter les frais d'entretien, et aussi, dans une certaine mesure, les résistances passives de la machine. Je pense que le plus souvent il n'y aurait pas opportunité à donner beaucoup moins d'une cinquantaine de mètres à chaque jeu foulant et d'une vingtaine de mètres à la pompe aspirante élévatoire du fond.

Il convient de signaler ici une disposition dont il existe quelques exemples, et qui consiste à établir le moteur d'un système de pompes, non pas au jour, comme on le fait le plus souvent, mais au fond de la mine, à côté du point où les eaux se rassemblent. Cette disposition supprime tout l'attirail des maîtresses tiges et des répétitions, et réduit à une simple colonne de refoulement le système établi dans le puits d'épuisement. Cela peut être utile dans certains cas, notamment avec un puits à section étroite qui devrait être affecté en même temps à un autre service. Il ne faudrait pas d'ailleurs un puits très-profond, pour ne pas avoir une trop forte charge à la base de la colonne; M. Juncker a établi cependant avec succès dans les mines de Huelgoat une colonne de 230 mètres de hauteur; c'est, à ma connaissance, le maximum qu'on ait employé dans *des épuisements de mines*, bien qu'on trouve des exemples de hauteurs beaucoup plus grandes encore dans les salines de Bavière pour l'élévation des eaux saturées.

Une autre disposition beaucoup plus souvent employée pour l'épuisement consiste dans l'emploi de bennes à eau mues par la machine qui fait le service de l'extraction, ou par une machine spéciale. Ce n'est pas ici le lieu de décrire les divers systèmes de bennes à fond fixe, ou à clapet, ainsi que les artifices employés pour les remplir au puisard et les vider à la recette. J'insiste seulement sur ce point que l'épuisement à la benne, lorsqu'il est possible, est un système fort satisfaisant, qui ne doit point être regardé en principe comme inférieur au système des pompes. Je pense même que pour des profondeurs moyennes et pour des affluences d'eau modérées, telles que le travail de l'élévation de l'eau ne dépasse pas une certaine limite (50 à 60 chevaux, par exemple), l'épuisement à la benne pourrait bien être au contraire le système à préférer. L'installation en serait plus simple, l'entretien et les réparations peut-être moins onéreux, ou en tous cas moins assujettissants.

§ VIII. *Éclairage et aérage.*

Les lampes de sûreté employées dans les mines de houille à grisou ont continué d'être l'objet des recherches des inventeurs. Plusieurs dispositions nouvelles ont été proposées. Je citerai seulement parmi elles celle de la lampe Dubrulle. Cette disposition consiste en ce que le tamis, qui est en toile métallique ordinaire, ne peut être enlevé sans faire rentrer entièrement la mèche dans le porte-mèche, ce qui en amène nécessairement l'extinction. Le but que se proposent ordinairement les ouvriers lorsqu'ils découvrent leur lampe à leur chantier étant d'avoir plus de lumière, l'inventeur a pensé qu'ils cesseront naturellement de faire cette manœuvre lorsqu'elle aura, comme avec sa lampe, un effet précisément contraire. On peut répondre que si l'ouvrier est déterminé à commettre une imprudence, il ouvrira sa lampe, en l'éteignant il est vrai ; mais il la rallumera ensuite avec une allumette ordinaire, qu'il introduira lui-même dans la mine, ou qu'il se procurera auprès des ouvriers qui, travaillant à la poudre, sont obligés d'avoir avec eux les moyens de faire du feu.

La lampe Dubrulle est néanmoins employée dans quelques mines des environs de Valenciennes; mais elle ne s'est pas, à ma connaissance, répandue ailleurs.

La lampe de sûreté ordinaire, telle qu'elle a été proposée par Davy, et avec des moyens de fermeture plus ou moins perfectionnés, mais rarement tout à fait à l'abri des tentatives des ouvriers, est encore le système qui prévaut dans le plus grand nombre des bassins houillers. C'est en Belgique seulement, et principalement à Liége, que la lampe Mueseler est employée sur une grande échelle. Elle est certainement préférable à la lampe ordinaire, sous le rapport de l'intensité de la lumière produite : elle est au moins aussi sûre, mais elle demande à être maniée avec certaines précautions, à défaut desquelles on risque souvent de l'éteindre, ce qui n'est pas sans inconvénient.

Quant à l'aérage, il y a lieu de considérer deux questions distinctes, celle de la production du courant d'air, et celle de la distribution de ce même courant dans les travaux.

La production du courant se fait quelquefois spontanément pour des mines peu profondes et peu étendues, avec galeries à

large section, et qui communiquent au jour par plusieurs orifices.

Mais cette ventilation naturelle est généralement insuffisante pour une grande mine, et l'on doit alors revenir à un moyen artificiel quelconque.

Les foyers d'aérage ont été le premier moyen employé ; ils sont même encore presque le seul qui le soit en Angleterre, notamment dans le bassin de Newcastle. Grâce à la grande échelle sur laquelle ils y sont établis, à leur excellente installation et aux conditions favorables que présentent les travaux à aérer, ces foyers y produisent une ventilation extrêmement active, dont les appareils mécaniques employés sur le continent sont généralement bien loin d'approcher.

Cependant les mines de Belgique et du nord de la France, assurément les plus difficiles à ventiler qui existent, tendent de plus en plus à remplacer les foyers par des machines d'aérage. Ces machines ont été depuis une vingtaine d'années un objet d'étude favori pour les ingénieurs qui s'occupent de l'exploitation des mines.

Cette tendance des exploitants du continent se justifie parfaitement, malgré les résultats remarquables obtenus en Angleterre au moyen des foyers. De pareils résultats ne pourraient être obtenus avec les puits humides et avec les galeries à petite section des mines du Nord et de la Belgique. L'humidité nécessite un surcroît de consommation de combustible, et la faible section des galeries oblige, pour y faire circuler un volume d'air suffisant, à produire une dépression manométrique, difficile à réaliser au moyen du simple tirage produit par un foyer. Enfin, quelques précautions que l'on prenne, la présence d'un foyer au fond d'une mine dans laquelle il se dégage du grisou, ne peut être considérée comme absolument dépourvue de tout danger.

Parmi les nombreux appareils proposés depuis un certain nombre d'années, trois seulement sont aujourd'hui employés dans les installations nouvelles : ce sont les ventilateurs *Fabry*, *Lemielle* et *Guibal*.

Les deux premiers me paraissent à peu près équivalents. Ils ont l'avantage de se prêter au calcul pour la détermination, au moins approchée, des dimensions appropriées au débit d'un volume d'air donné. Ils peuvent produire une dépression manométrique variable entre d'assez larges limites. Le ventilateur

Guibal n'est, à proprement parler, que le ventilateur à force centrifuge ; ce qui le distingue des appareils du même genre proposés, soit par M. Combes, soit plus tard par M. Letoret, c'est d'une part l'emploi d'ailes planes inclinées de 60° sur le rayon (ce qui, je crois, n'est point du tout un perfectionnement comparativement aux ailes courbes), et le mode très-simple d'assemblage de leurs bras sur l'arbre, et d'autre part l'emploi d'un coursier analogue à celui qui entoure les ailes d'un ventilateur de cubilot, ainsi que d'une vanne servant à régler empiriquement l'ouverture ménagée à la circonférence de ce coursier pour l'échappement de l'air. L'expérience a montré l'utilité d'un semblable coursier, même pour les ventilateurs aspirants, toutes les fois que le nombre des ailes est petit, comme dans les appareils de M. Guibal, où il n'en existe que six. Il a alors pour effet d'empêcher les rentrées d'air sur la face postérieure de chaque palette, et les remous que ces rentrées d'air occasionneraient.

L'appareil Guibal a sur les appareils Fabry et Lemielle plusieurs avantages : il est d'un prix beaucoup moins élevé ; s'il vient à s'arrêter accidentellement, il n'intercepte pas, comme eux, tout le courant d'air ; les chances d'arrêt sont d'ailleurs moindres, et les frais d'entretien presque nuls, à cause de la grande simplicité de ses organes. Enfin il peut facilement prendre des vitesses variables entre des limites beaucoup plus écartées. Son désavantage est que, même avec les plus grandes vitesses, il ne peut pas arriver à des dépressions manométriques aussi fortes. Il pourrait donc, plutôt qu'eux, se trouver en défaut, à la suite de quelque grande explosion qui aurait amené des éboulements considérables, et rétréci les passages d'air au point de nécessiter une très-forte aspiration pour établir un aérage suffisant pendant les travaux de sauvetage et de réparation.

En résumé, il me paraît que la question du choix à faire entre ces trois appareils n'est pas encore tranchée, et qu'il faut attendre une expérience plus prolongée.

Quant à leur supériorité sur les autres machines d'aérage, proposées jusqu'à ce jour, elle est généralement admise.

La question de la distribution du courant d'air ne comporte point de principes autres que ceux qui ont été posés depuis longtemps d'une manière complète par M. Combes dans ses *Mémoires sur l'aérage des mines.*

Il n'y a donc pas lieu d'insister ici sur cette question, autrement que pour recommander l'application de ces principes.

§ IX. *Préparation mécanique des minerais.*

Les matières extraites d'une mine doivent souvent, avant d'être livrées, soit au commerce, soit aux usines qui les élaborent, subir certaines opérations qui incombent à l'exploitant. Ces opérations quelquefois très-simples, d'autres fois très-complexes, portent en général le nom de *préparation mécanique.*

Elles consistent :

Pour la houille, en un lavage qui a pour objet de séparer les pyrites et les schistes mélangés ou menus;

Pour les minerais de fer, en un débourbage qui enlève les parties argileuses ;

Enfin, pour les autres minerais métalliques, en une série de préparations dont l'objet est, autant que possible, de séparer les gangues ou matières stériles, et d'isoler les uns des autres les minerais de nature diverse que renferme souvent un même filon.

Le lavage de la houille même est une opération qui ne se fait que depuis quelques années, mais qui paraît appelée à se répandre de plus en plus. Elle offre des avantages évidents pour le menu employé directement par les consommateurs et plus encore pour celui qui est destiné à la fabrication du coke ou des agglomérés. En général, l'industriel éclairé sur ses intérêts ne doit pas hésiter à payer les frais de cette opération, surtout lorsque le charbon qu'il consomme a à supporter des frais de transport dont il importe de ne pas grever des matières qui sont tout au moins inertes, et qui dans beaucoup d'emplois peuvent altérer la qualité des produits fabriqués, et entraînent des frais plus ou moins importants pour en effectuer l'élimination par voie de fusion. Il faut d'ailleurs que le consommateur s'attende à payer un excédant de prix assez considérable (2f.50 à 3 francs par tonne, par exemple), afin de couvrir non-seulement les frais mêmes de l'opération, mais encore le déchet, qui est rarement inférieur à 10 p. 100 et atteint souvent 20 p. 100 et plus.

Les appareils employés pour le lavage de la houille ont reçu des dispositions très-variées. On peut consulter utilement sur

ce sujet un rapport inséré dans le *Bulletin de la Société minérale de Saint-Étienne*, par M. Baure, rapporteur d'une commission qui a soumis à des expériences comparatives les nombreux appareils établis dans les diverses exploitations du bassin de la Loire.

Les deux systèmes qui prévalent aujourd'hui en France sont la machine Bérard et le crible à piston latéral mû à bras ou mécaniquement au moyen de cames.

MM. Bérard et Levainville, après de nombreux essais, sont arrivés aujourd'hui à un type de machine qu'ils établissent pour élaborer 70 à 80 tonnes par poste de douze heures, et qui renferme, sous une forme compacte, les divers organes nécessaires au classement, au broyage et au lavage. Le charbon tout-venant est livré brut à une extrémité de la machine, et le menu lavé est versé à l'autre extrémité dans les wagons qui doivent l'enlever. Cette machine est assurément l'appareil qui fonctionne avec le minimum de frais de main-d'œuvre ; les résultats en sont généralement satisfaisants sous le rapport de la pureté de la houille obtenue et de la pauvreté en charbon du schiste séparé.

Mais avec certains charbons on est exposé à perdre, sous forme de limons, une quantité notable du charbon le plus fin ; l'appareil est donc moins convenable pour des charbons très-tendres et très-fins que pour des charbons durs et grenus. En outre, lorsque le charbon livré par la mine est de qualité très-inégale, et le cas n'est pas rare, le travail n'atteint pas le même degré de pureté, ni surtout la même régularité qu'avec le lavoir à bras manœuvré par un ouvrier exercé et soigneux.

On pourrait dire, je crois, que lorsqu'il s'agit d'un lavage un peu sommaire, tel qu'il convient par exemple pour fabriquer du coke métallurgique, la machine Bérard peut être employée avec un grand avantage ; mais que si l'opération est difficile ou délicate, soit parce que le charbon est très-friable, ou de pureté très-variable, soit parce qu'il est nécessaire de se tenir à coup sûr au-dessous d'une teneur en cendre déterminée et très-faible, ainsi que l'exigent souvent les marchés de coke ou d'agglomérés, avec les compagnies de chemin de fer ou avec la marine, on préférera faire un certain sacrifice sur la main-d'œuvre, et opérer avec des cribles à piston mû à bras.

C'est en France que la question du lavage des charbons a été d'abord posée, et aujourd'hui encore, c'est en France et

en Belgique que ce lavage est pratiqué sur la plus grande échelle.

Ainsi, par exemple, comparativement au chiffre total de l'extraction, la quantité de houille lavée est beaucoup plus grande en France qu'en Angleterre ; résultat attribuable sans doute en partie à ce que les charbons de ce dernier pays sont généralement plus purs, mais certainement aussi à ce que la question du lavage n'y a pas encore suffisamment fixé l'attention des exploitants et des consommateurs.

Dans l'important bassin de la Ruhr en Westphalie, l'opération du lavage commence aussi à s'organiser sur une grande échelle. MM. Sievers et compagnie, de Deutz, qui ont un atelier de construction spécial pour les appareils de préparation mécanique, établissent un système qui se rapproche beaucoup du grand modèle de la machine Bérard, en ce sens qu'il y a un classement préalable du charbon, mais qui en diffère en ce que ce classement s'effectue au moyen de trommels au lieu de grilles planes à secousses. Une autre différence consiste en ce que la matière la plus fine fournie par le trommel passe avant d'arriver sur le crible à travers un appareil spécial nommé *Strom apparat*, sur lequel je reviendrai plus loin, et qui a pour objet d'en opérer en quelque sorte le débourbage en ne laissant arriver sur le crible à piston qu'une matière suffisamment grenue.

En résumé, il semble que dans l'état la machine à laver de MM. Sievers doit faire un travail très-satisfaisant ; mais elle est plus complexe, plus volumineuse et notablement plus chère que la machine Bérard pour une même production.

Le débourbage des minerais de fer ne donne lieu à aucune observation qu'il soit utile de consigner ici.

Quant à la préparation mécanique des minerais métalliques, bien qu'elle comporte dans le cas le plus général un grand nombre d'appareils et une grande complication apparente d'opérations, la simplicité du but qu'on se propose permet de classer méthodiquement ces diverses opérations et d'en ramener la théorie à un petit nombre de principes. En général on devra distinguer :

1° *La préparation à la main*, qui se fait sur tous les morceaux d'une grosseur suffisante pour qu'on puisse, sans trop de dépense, les manier un à un, et les trier immédiatement ou les concasser et en soumettre les fragments à un triage ;

2° *Le travail des cribles à secousse*, applicable aux matières trop fines pour la préparation à la main, mais encore assez grenues pour n'avoir aucune plasticité dans l'eau et se laisser diviser par l'eau pendant les secousses imprimées à l'eau ou à l'appareil ;

3° *Le travail du lavage sur les diverses variétés de tables*, applicable à toutes les matières ténues depuis les petits grains jusqu'aux schlamms les plus fins.

Le principe le plus général, celui dont l'utilité chaque jour mieux comprise est le véritable point de départ de la plupart des améliorations nombreuses qui se sont produites depuis quelques années, consiste en ceci que l'on doit, autant que le comporte la manière dont le minerai utile est disséminé dans sa gangue, chercher à *étendre* la préparation à la main et les criblages, et à *restreindre* les lavages.

C'est en effet dans ces dernières opérations que l'on a à la fois et la plus grande dépense en main-d'œuvre et surtout les plus grands déchets. L'évaluation précise de ces déchets est sans doute fort difficile dans chaque cas particulier, mais si l'on considère qu'ils seront rarement inférieurs à 20 p. 100, et qu'ils pourront atteindre 40 p. 100, 50 p. 100, et plus pour des matières peu riches, on comprendra l'utilité du principe énoncé ci-dessus, et l'on cherchera, dès les premières opérations, à éliminer le plus possible de matières décidément stériles, de manière à n'avoir définitivement à broyer pour le lavage qu'une quantité de matière aussi réduite que faire se pourra.

J'indiquerai rapidement les perfectionnements nouveaux les plus importants, en suivant l'ordre naturel des opérations.

1° Travail sur la halde.

Les chariots sortant de la mine sont en général basculés sur une grille qui sépare le menu du gros à soumettre au cassage sur la halde.

Cette dernière opération, quelque simple qu'elle paraisse, devra être faite avec soin et intelligence. En général ce ne devra pas être seulement un concassage pour arriver à avoir des morceaux de grosseur appropriée aux manipulations suivantes ; il faudra immédiatement commencer à faire du triage, au moins d'une manière sommaire. Ce triage sera grandement facilité si les morceaux sont bien nettoyés. On devra donc, quand on le pourra, faire intervenir l'eau dans cette séparation du gros et du menu.

2° Débourbage et classement des menus.

Le menu sortant de la mine et celui qui se produit au cassage sur la halde, sont soumis à une opération qui a pour objet d'isoler des morceaux pour le triage à la main, des grains pour le criblage et des sables et schlamms pour le lavage.

Des appareils très-variés ont été et sont encore employés pour ces opérations de débourbage et de classement de grosseur. On peut dire que les appareils rotatifs connus sous le nom de *trommels* doivent *sans hésiter* être préférés à tous les systèmes de grilles fixes ou mobiles. Ils fonctionnent mieux que la plupart d'entre eux, et toujours avec une grande économie d'entretien et de main-d'œuvre.

Un appareil complet comprendra en général un premier trommel *débourbeur*, d'une construction plus ou moins complexe, selon la nature plus ou moins argileuse et plastique de la masse à traiter. Ce trommel présentera du côté de la tête une paroi pleine sur une certaine longueur, puis une seconde partie munie de très-petites ouvertures pour se débarrasser immédiatement des parties argileuses délayées dans la première ; puis enfin une troisième partie à ouvertures très-larges pour ne retenir que les fragments propres au triage. Après le débourbeur viendra le trommel *classeur*, qui recevra ce qui aura traversé les larges mailles du débourbeur, et le partagera en quatre ou cinq catégories ou plus, destinées à être passées séparément au travail des cribles.

Telle est la disposition générale dont les détails ont été et peuvent être variés d'une infinité de manières. Une des moins employées et qui est cependant fort utile *pour la netteté du travail*, consiste à faire fonctionner dans l'eau le trommel classeur. La bâche qui contient cette eau est divisée par des cloisons transversales en autant de compartiments qu'on forme de classes de minerais. Chaque compartiment est évasé sur une de ses faces au moins, de manière qu'on puisse enlever la matière à la pelle sans faire écouler l'eau ni arrêter le travail.

C'est dans les mines de plomb et de zinc de la Belgique et des bords du Rhin, notamment sous l'habile direction de M. l'ingénieur Braun, que les trommels ont reçu l'emploi le plus général et les dispositions les plus complètes. Il y a là d'excellents modèles à imiter.

3° Travail du crible à secousse.

L'opération du criblage a été surtout perfectionnée depuis

quelques années par le fait même du perfectionnement des appareils de classement. On arrive en effet à un travail d'autant plus satisfaisant qu'on a des grains de grosseur plus uniforme.

Quant à l'appareil employé, les modifications très-nombreuses qu'il a reçues, soit en lui-même, soit dans la manière de le faire mouvoir, ne paraissent avoir qu'une importance secondaire. Que l'on ait un crible mobile ou un crible fixe à piston, que ce piston soit inférieur ou latéral, que le mouvement ait lieu à bras ou par un mécanisme quelconque, on arrivera toujours à un travail satisfaisant si les matières sont bien classées. Du moins il ne paraît pas qu'en l'état une disposition obtienne une préférence marquée et générale sur les autres. Ainsi, tandis que sur le continent les cribles fixes à piston latéral mû mécaniquement sont chaque jour plus employés, les Anglais, bien que très-familiarisés avec l'usage des appareils mécaniques, sont revenus presque partout aux cribles mobiles manœuvrés à bras.

4° Broyages en général.

On emploie dans la préparation mécanique deux appareils de broyage essentiellement distincts, les cylindres et les bocards.

Si l'on veut définir d'une manière succincte et en termes généraux le rôle de ces deux genres d'appareils, on pourra dire que les premiers conviennent pour *concasser les matières tendres* et les autres *pour broyer plus finement les matières dures.*

C'est dire par cela même qu'en ayant égard au principe général énoncé plus haut il y a lieu de chercher à étendre l'emploi des broyeurs, à restreindre celui des bocards.

On devra également avec ces derniers, sauf dans le cas où le minerai très-finement disséminé oblige de *bocarder à mort*, prendre toutes les dispositions pour éviter la formation des schlamms fins, et tâcher au contraire d'obtenir une matière aussi grenue que possible.

On emploiera donc des pilons légers, tombant de haut et battant lentement, et une quantité d'eau aussi grande que possible. On fera sortir la matière sur toute la largeur de l'auge à travers une tôle percée de trous plutôt que de l'obliger à traverser l'auge dans le sens de sa longueur. On établira le fond de l'auge à un niveau tel que l'on puisse placer entre le bocard et le labyrinthe quelque appareil propre à retenir les parties

grenues, et à retirer ainsi une certaine quantité de matière encore propre au travail des cribles fins. Cet appareil pourra être, par exemple, un système de trommels classeurs au moyen desquels on obtiendra trois ou quatre variétés de grains jusqu'à un millimètre de diamètre par exemple, dimension encore traitable au crible lorsque ces grains sont convenablement débarrassés de schlamms.

Quant à la manière d'effectuer ce débourbage des sables, un des meilleurs systèmes paraît être le strom-apparat établi par MM. Sievers et compagnie, et qui fonctionne avec succès dans plusieurs établissements de la Vieille-Montagne.

La matière à débourber arrive verticalement au-dessus d'un tuyau dans lequel circule un courant d'eau ascendant, dont on règle la vitesse au moyen d'un robinet. Les parties les plus ténues sont entraînées de bas en haut et se déversent par-dessus le bord du tuyau; les parties plus lourdes descendent à travers le courant et s'échappent par une ouverture ménagée à la partie inférieure. Cette disposition est très-simple à établir, très-facile à régler, et donne de très-bons résultats. On ne peut qu'en recommander l'emploi.

Une autre disposition qui se répand également beaucoup, et qui d'ailleurs peut parfaitement s'établir, comme complément de la précédente, pour les matières entraînées par le courant ascendant du strom-apparat, consiste dans les spitzkasten de M. Rittinger, soit sous la forme proposée par cet habile ingénieur, soit sous la forme beaucoup plus compacte que leur donnent MM. Sievers et compagnie. Cette disposition a pour double résultat de supprimer les labyrinthes et la main-d'œuvre considérable qu'entraîne la manutention des matières qui s'y déposent, et de donner des produits plus nettement distincts que ceux qui se déposent dans les canaux successifs d'un labyrinthe.

5° Lavage en général.

Toutes les matières trop fines non-seulement pour être traitées à la main, mais même pour passer au travail des cribles, et qui résultent soit du débourbage des menus de la mine et des déchets du cassage sur la halde et du triage au marteau, soit des appareils de broyage, constituent les matières qui doivent être soumises au lavage.

Les appareils qui servent le plus habituellement pour cette

opération sont les diverses espèces de caisses ou de tables fixes ou *dormantes*, et les tables à secousses. Ces appareils présentent une variété extrême de formes, de dimensions, de modes de travail, dont il ne serait pas toujours facile de préciser la raison d'être, et dans le détail desquelles il n'y a pas lieu d'entrer ici.

Je me bornerai à mentionner les round-buddles tels qu'ils ont été établis depuis une douzaine d'années en Angleterre, comme pouvant servir utilement, sinon, toujours à obtenir du schlich, du moins à préparer à peu de frais la matière à passer sur les tables.

Ces round-buddles ont été le point de départ des tables tournantes imaginées au Hartz, d'où elles se sont répandues dans quelques autres districts métallurgiques. Établies d'abord en bois et sur de grandes dimensions, souvent accouplées, munies d'un appareil assez compliqué de brosses ou de balais, elles constituaient un appareil dispendieux à établir, d'un entretien délicat et minutieux. Dernièrement MM. Sievers et compagnie, dont je viens déjà de citer plusieurs fois les travaux, sont arrivés pour cet appareil à une solution simple et pratique qui paraît devoir en répandre l'emploi et réduire beaucoup celui des tables ordinaires. L'appareil consiste en un anneau en fonte d'une seule pièce ayant de 2 à 3 mètres de diamètre extérieur, et présentant une surface conique inclinée vers l'axe pour les sables ou les plus gros schlamms, inclinée au contraire vers l'extérieur pour les schlamms fins. La matière arrive délayée dans l'eau en un point de la circonférence extérieure pour les tables concaves et de la circonférence intérieure pour les tables convexes. L'eau est distribuée sur cette même circonférence au moyen de tuyaux courbes percés de petits trous. Le débit de chaque tuyau est réglé selon les besoins, au moyen d'un robinet.

Le lavage du dépôt reçu en chaque point de la table doit s'effectuer pendant que celle-ci fait un tour. Des tuyaux munis de buses dont on peut faire varier la position, par rapport à la largeur de la table, servent à balayer la matière lavée en la fractionnant à volonté, selon le degré d'enrichissement à obtenir.

La simplicité de l'appareil, son volume compacte, la solidité de sa construction, les nombreux moyens de règlement qu'il présente pour approprier le travail à la nature des matières

traitées, l'économie de main-d'œuvre qui doit résulter de la facilité et de la continuité de l'opération, tous ces avantages me paraissent de nature à fixer l'attention sur ce nouvel appareil.

Je viens de citer plusieurs fois le nom de MM. Sievers et compagnie. Indépendamment des appareils nouveaux que j'ai indiqués, on leur doit encore beaucoup de perfectionnements dans les détails de construction de la plupart des appareils ordinaires. La création d'un établissement spécial pour la construction des appareils si variés qu'emploie la préparation mécanique répondait à un besoin réel et sérieux de l'industrie des mines, et l'on ne peut méconnaître que l'établissement de Deutz, sous l'habile direction de son ingénieur, M. Neuenburg, n'ait déjà rendu d'importants services à cette industrie.

COMMENTAIRE

AUX TRAVAUX PUBLIÉS SUR LA CHALEUR CONSIDÉRÉE AU POINT DE VUE MÉCANIQUE.

Par M. RÉSAL, ingénieur des mines.

Historique.

La chaleur, considérée comme source de production de travail, a été dans ces derniers temps l'objet d'études très-sérieuses, et l'on a vu successivement paraître des mémoires remarquables sur cette question, à laquelle se rattache un grand intérêt industriel.

Mais ces travaux, dus à un assez grand nombre de savants français et étrangers, sont disséminés pour la plupart dans divers recueils scientifiques, et personne, je crois, n'a cherché à les réunir de manière à former l'ensemble que doit présenter un corps de doctrine. Je vais essayer de remplir cette tâche, tant au point de vue historique que sous le rapport scientifique, en cherchant à ramener autant que possible à un même point de départ tous les éléments qui nous sont acquis.

Sadi Carnot (1) fit paraître en 1824 un ouvrage intitulé : *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, auquel on ne fit d'abord pas grande attention, et où se trouvent formulés d'une manière extrêmement nette les principes fondamentaux de la théorie mécanique de la chaleur. D'après M. Seguin, Montgolfier aurait établi, dès 1800, les bases de cette théorie; mais, comme il

(1) Fils du célèbre Carnot, né en 1796, capitaine du génie, décédé en 1832.

ne paraît pas exister de pièces qui puissent justifier cette assertion, l'honneur de la découverte revient à S. Carnot.

Toute la théorie de Carnot repose sur deux principes ou axiomes fondamentaux qu'il énonce ainsi qu'il suit :

Premier principe. — *Le travail produit par la chaleur résulte uniquement du transport de la chaleur d'un corps chaud à un corps froid sans aucune perte ou création de chaleur, et réciproquement un travail mécanique quelconque ne peut que transporter de la chaleur d'un corps à un autre.*

Ainsi, dans une machine à vapeur, la chaleur produite par le combustible transforme l'eau en vapeur qui passe dans le cylindre où elle exerce son action, puis dans l'atmosphère ou dans le condenseur où elle se liquéfie, en cédant ainsi sa chaleur à des corps extérieurs.

Deuxième principe. — *Si le transport est effectué de telle sorte qu'après l'expérience, l'agent qui transporte la chaleur se retrouve dans le même état physique qu'au commencement, et si de plus il n'y a jamais eu de différence finie entre les températures des corps en contact, la quantité de travail produite est indépendante de la nature et du mode d'action du corps employé comme véhicule; elle dépend seulement de la quantité de chaleur transportée et de la différence de température des corps entre lesquels le transport a lieu.*

Le mode de démonstration employé par Carnot, basé sur l'impossibilité de créer du travail avec rien, est le suivant.

Soient A et B deux corps dont le premier, par exemple, est le plus chaud; T, T′ les travaux correspondant au passage d'une quantité Q de chaleur de A à B, à l'aide

des véhicules c, c'. Si T était supérieur à T′, il en résulterait que, en faisant passer Q de A à B à l'aide de c, puis de B en A au moyen de c', on aurait en résumé créé le travail T — T′ qui n'aurait rien coûté, ce qui est inadmissible.

Carnot déduit de ces deux principes, sans le secours de l'analyse, mais par une série de raisonnements qu'il est difficile de suivre, des conséquences curieuses relatives aux propriétés des gaz.

En 1834, M. Clapeyron appliqua l'analyse à la théorie de Carnot, dont il posa les équations fondamentales dans un savant mémoire inséré au 23ᵉ cahier du *Journal de l'École polytechnique*, en considérant les gaz et les vapeurs au maximum de tension. Nous reviendrons plus loin sur les résultats remarquables que M. Clapeyron a tirés de ses formules.

Mais les principes de Carnot sont insuffisants pour déterminer la loi que suit le rapport du travail produit à la chaleur transportée, lorsque l'on fait varier la température. Il y avait donc là une lacune à combler, et ce perfectionnement dû à un physicien anglais, M. Joule (1), consiste dans la proposition suivante qui n'a sur la plupart des points, rien d'incompatible avec celles qui précèdent, comme nous le reconnaîtrons ultérieurement.

Quand un travail est produit par la chaleur, il y a une consommation de chaleur proportionnelle à ce travail, et réciproquement cette chaleur peut être reproduite au moyen d'un travail équivalent au précédent.

Nous nous bornerons à indiquer, sans entrer dans aucun détail, les expériences qui ont conduit M. Joule à établir ce nouveau principe.

(1) *Transactions philosophiques*, 1850.

1° *Si l'on met en communication deux récipients identiques plongés dans l'eau, l'un vide et l'autre rempli d'air à 22 atmosphères, dès que les tourbillonnements ont disparu, on remarque que la pression est descendue à 11 atmosphères et que la température n'a pas varié.*

2° *Si l'air, au lieu de se rendre dans le ballon vide, se rend sous une cloche remplie d'eau, il se produit évidemment un travail extérieur et l'on observe un abaissement notable de température.*

Les doutes qui pouvaient encore exister sur ces deux faits ont été entièrement levés par les expériences dont M. Regnault a entretenu l'Académie des sciences dans la séance du 18 avril 1853.

Dans le premier cas, le gaz n'éprouve pas de perte de chaleur, mais il n'y a pas production de travail; dans le second, il y a perte de chaleur et production de travail. D'où l'on conclut que la dilatation d'un gaz n'absorbe de la chaleur qu'autant qu'elle est accompagnée de la production d'un travail.

La seconde des expériences précitées a donné 460 kilogrammètres pour le travail correspondant à la disparition d'une calorie; M. Joule a déduit pour le même rapport, 444 kilogrammètres de la compression de l'air, $430^{km},36$ et $432^{km},40$ de l'échauffement de l'eau et du mercure résultant de l'agitation produite par une roue à palettes, et $432^{km},22$ de la chaleur dégagée par le frottement l'une contre l'autre de deux masses de fonte animées de mouvements de rotation; enfin (1) il a obtenu 460 kilogrammètres au moyen de l'échauffement dû à l'induction d'un conducteur qui se meut dans le voisinage d'un aimant.

Les faibles différences relatives que présentent les

(1) *Philosophical magazine*, t. XXIII.

chiffres précédents, dont la moyenne est de 440 environ, obtenus dans des conditions aussi différentes les unes des autres, permettent de conclure, si l'on a surtout égard à ce qu'il peut y avoir d'imparfait dans les expériences de M. Joule, la constance du rapport entre le travail dépensé ou produit et la chaleur créée ou perdue. C'est ce rapport auquel on donne le nom d'*équivalent mécanique de la chaleur*.

M. Clausius, professeur à Zurich, reprit la théorie mécanique de la chaleur au point où l'avait laissée M. Clapeyron, et publia sur ce sujet deux mémoires remarquables dans les *Annales de physique et de chimie de M. Poggendorff* (t. LIX, 1850), dans lesquels il substitue au premier axiome de Carnot le principe de M. Joule. Nous reviendrons plus loin sur les travaux de M. Clausius en même temps que nous reproduirons en substance quelques notes de M. W. Thomson (1) qui en forment le complément. Nous ferons toutefois remarquer que la démonstration donnée plus haut du second principe de Carnot, essentiellement basée sur l'impossibilité de détruire de la chaleur, est incompatible avec le principe de M. Joule, et voici de quelle manière M. Clausius la rectifie.

Supposons qu'il faille transporter deux quantités de chaleur différentes Q et Q' d'un corps A à un corps moins chaud B pour produire un même travail T, au moyen des véhicules c et c', Q' étant censé supérieur à Q. En transportant Q de A à B à l'aide de c, puis Q' de B à A au moyen de c', les travaux seront exactement compensés, et il en sera de même de la chaleur consommée dans la première opération et de la chaleur créée dans la seconde. D'où résulterait qu'en

(1) *Transactions de la société royale d'Édimbourg*, t. XX.

transportant moins de chaleur de A à B que de B à A, on aurait modifié sans dépense de travail la distribution de la chaleur dans les deux corps, en augmentant celle du corps le plus chaud, ce qui est impossible, car la chaleur tend naturellement à passer du corps le plus chaud au corps le plus froid, et pour la déplacer en sens inverse, une dépense de travail paraît nécessaire. On ne peut donc pas supposer que Q et Q′ sont différents, ce qui démontre le principe énoncé.

M. Reech, dans un mémoire publié en 1853, au lieu d'admettre *à priori* que le travail produit par un transport de chaleur est proportionnel à la quantité de chaleur qui a disparu, établit que l'on peut supposer plus généralement qu'il est égal à la différence des quantités de chaleur empruntée et transmise, multipliées respectivement par une même fonction de la température de la source chaude et de la source froide. Ce qui, en résumé, revient à considérer l'équivalent mécanique de la chaleur comme fonction de la température. Mais comme l'expérience ne paraît indiquer aucune loi de variation de cette constante, il en résulte ici une complication complétement inutile.

Nous devons mentionner ici une note de M. Person sur le calcul de l'équivalent mécanique de la chaleur, insérée au 6e volume des mémoires de la Société d'émulation du Doubs (1854), et dans laquelle l'auteur remarque que si l'on augmente de 1 degré le volume d'un gaz sous pression constante, la quantité de chaleur transformée en travail extérieur est égale à la différence des deux chaleurs spécifiques. C'est l'interprétation la plus simple qui ait été donnée, dans le cas actuel, du principe de M. Joule, et, en partant de là, M. Person a trouvé pour la valeur de l'équivalent mécanique 424 kilogrammètres.

Enfin, M. Bourget a publié dans le tome LVI de la 3e série des *Annales de physique et de chimie* sur *les effets dynamiques de la chaleur donnée à un gaz permanent*, un travail remarquable par la clarté avec laquelle il a présenté la question.

M. J. Thomson, au moyen de certaines considérations, était parvenu à prévoir qu'une augmentation de pression devrait abaisser le point de fusion de tout corps qui se contracte en se liquéfiant; M. W. Thomson (1) a vérifié ultérieurement ce fait sur l'eau; mais M. Clausius (2) a rattaché d'une manière très-ingénieuse ce genre de phénomènes à la théorie mécanique de la chaleur. La théorie indique que l'inverse doit avoir lieu pour les corps qui se contractent en se solidifiant, ce qui se trouve justifié par quelques expériences de M. Bunsen (3).

M. Hirn a publié en 1858, sous le titre de *Recherches sur l'équivalent mécanique de la chaleur*, les résultats de nombreuses expériences exécutées par lui sur le frottement et la cohésion des corps, les machines à vapeur, etc., pour déterminer le rapport de la chaleur créée ou détruite au travail dépensé ou produit. La plupart des expériences de M. Hirn tendent à prouver la constance de l'équivalent mécanique; mais les autres tendraient à démontrer le contraire, notamment celles qui se rapportent au travail produit par l'homme et à la chaleur qui se développe dans son corps; ces dernières, par leur nature, ne méritent pas une confiance absolue.

Nous terminerons ici la liste des auteurs qui se sont

(1) *Transactions de la société royale d'Édimbourg.*
(2) *Annales de Poggendorff*, t. LXXXI, p. 68.
(3) *Annales de Poggendorff*, t. LXXXI, p. 562.

occupés de l'équivalent mécanique de la chaleur, les autres personnes que nous pourrions citer n'ayant pas abordé la question sous son véritable point de vue.

La théorie mécanique de la chaleur a reçu de ma part quelques additions et de notables simplifications dans quelques démonstrations, sur lesquelles il me serait superflu de m'étendre.

---

§ 1er. *Formules fondamentales de la théorie mécanique de la chaleur.*

1. Préliminaires et notations.

Considérons un système matériel solide, liquide ou gazeux, sous l'unité de poids occupant le volume v à la température t sous la pression p, et soit Q la quantité de chaleur qu'il renferme.

Il est clair que l'on pourra modifier la valeur de l'une quelconque des trois quantités v, p, t, et par suite celle de Q en faisant varier les deux autres suivant une loi déterminée ou arbitraire.

Supposons que v et p soient les variables et qu'elles représentent (Pl. VI, *fig.* 21) l'abscisse oa et l'ordonnée ma d'un point m. Si p et v augmentent respectivement de dp et dv, on obtiendra un autre point m' infiniment voisin du premier; la quantité de chaleur se trouvera augmentée de dQ, et pour abréger le langage nous pourrons dire que dQ est l'*accroissement élémentaire de la chaleur estimé suivant la direction* mm'; dQ dépendra de la nature du lieu géométrique des points m, m', qui sera déterminé par une hypothèse au moyen d'une équation de la forme $p = f(v)$.

Soient c, c' les chaleurs spécifiques du corps, sous pression constante et sous volume constant, correspondant au point m; ldv la *chaleur qu'il faut donner au corps pour que la température restant constante, le volume augmente de* dv; nous la désignerons sous le nom de chaleur *latente de dilatation élémentaire*.

2. De l'échauffement d'un corps.

Pour arriver à l'état calorifique du corps infiniment voisin du premier, on peut supposer que le volume restant d'abord constant, on augmente la pression de $dp = mn$, ce qui donne pour la chaleur correspondante $c'\left(\frac{dt}{dp}\right)dp$, en employant une parenthèse pour indiquer que le coefficient différentiel est une dérivée partielle; puis que le volume augmente de $dv = nm'$, p restant constant, d'où résulte un autre accroissement de chaleur $c\left(\frac{dt}{dv}\right)dv$, en négligeant les termes du second ordre; on a ainsi la formule

$$(a) \qquad dQ = c'\left(\frac{dt}{dp}\right)dp + c\left(\frac{dt}{dv}\right)dv$$

qui exprime que l'augmentation élémentaire de chaleur estimée suivant mn' est égale à la somme des accroissements calorifiques élémentaires estimés respectivement suivant les deux composantes géométriques mn, nm' de l'élément mm'.

Or on a

$$dt = \left(\frac{dt}{dp}\right)dp + \left(\frac{dt}{dv}\right)dv,$$

d'où

$$\left(\frac{dt}{dp}\right)dp = dt - \left(\frac{dt}{dv}\right)dv,$$

et par suite

$$(b) \qquad dQ = c'dt + (c - c')\left(\frac{dt}{dv}\right)dv.$$

Désignons par β le coefficient de dilatation du corps; on a, p restant constant,

$$\beta v dt = dv,$$

par suite

$$\left(\frac{dt}{dv}\right) = \frac{1}{\beta v},$$

et enfin

$$(1) \qquad dQ = c'dt + \frac{(c - c')}{\beta v}\, dv,$$

équation dans laquelle nous considérerons dorénavant v et t comme variables indépendantes.

Au lieu d'opérer comme nous venons de le faire, on peut supposer que l'on augmente de dt la température du corps sous volume constant; en lui donnant la quantité de chaleur $c'dt$, la pression s'accroîtra de $\left(\frac{dp}{dt}\right)dt = mq$, puis, que, en maintenant la température constante, on augmente le volume de dv, moyennant une dépense de chaleur égale à ldv. Il vient ainsi

$$(2) \qquad dQ = c'dt + ldv,$$

équation évidente au point de vue analytique, puisque c' et l sont les dérivées partielles de Q par rapport à t et à v.

3. Expression de la chaleur latente de dilatation élémentaire.

De la comparaison entre les formules (1) et (2), on tire

$$(3) \qquad l = \frac{c - c'}{\beta v},$$

relation très-simple entre l les chaleurs spécifiques, le volume et le coefficient de dilatation.

Les formules (1), (2), (3) ne reposent sur aucune hypothèse, et les seules suppositions que l'on pourra se permettre ne devront aboutir qu'à établir entre les fonctions c, c', l, des relations que l'expérience seule devra justifier.

4. Expression du transport élémentaire

Le raisonnement employé par M. Clapeyron revient en substance au suivant :

de la chaleur, d'après M. Clapeyron, dans le cas où le véhicule ne change pas d'état physique pendant les opérations auxquelles il est soumis.

On comprime un corps à $t°$, de manière à l'amener à la température $t + dt$, et soit mr (*fig.* 1) la courbe qui représente la loi des pressions dans cette opération; puis on le laisse se dilater en conservant sa température, de manière à arriver au point m', ce qui exige que pendant le parcours rm', une source de chaleur A à la température $t + dt$ lui donne la quantité de chaleur ldv, dv étant l'augmentation de volume de r en m'. Si maintenant, sans lui donner de chaleur extérieure, on dilate le corps de manière à le ramener à $t°$, on aura une courbe telle que $m'r'$, et l'on reviendra au point m au moyen d'une compression sous température constante, qui aura pour effet de faire absorber à une source calorifique B à $t°$ la quantité de chaleur empruntée à A dans la première partie de l'opération.

Le corps étant revenu à son état primitif, et les molécules ayant repris leurs mêmes positions relatives, le travail moléculaire total est nul.

5. Formule de M. Clapeyron.

Dans le parcours mr, on a dû dépenser un travail extérieur mesuré par l'aire limitée par cet élément, les ordonnées des points m et r et l'axe des abscisses; de de r en m', il s'est au contraire produit un travail que l'on mesurera de la même façon; de m' en r' également; mais de r' en m, on a dépensé un travail extérieur. La somme des deux travaux intermédiaires, diminuée de celle des travaux extrêmes, est donc mesurée par l'aire $mrm'r'$ qui représente ainsi le travail produit par le passage de la quantité de chaleur ldv d'une source à $(t + dt)°$ à une autre source à $t°$.

Soient s, s' les points d'intersection de la direction de mr' avec les ordonnées de m et m'; l'aire élémentaire $rmm'r'$ peut être considérée comme un parallélogramme, qui est par suite équivalent à $rsm's'$ dont la mesure est $rs \times dv$, et comme rs représente la différence des pres-

sions sous le même volume aux températures $t + dt$ et $t°$, on a $rs = \left(\frac{dp}{dt}\right) dt$, et par suite pour le travail produit $dvdt \left(\frac{dp}{dt}\right)$; son rapport à la quantité de chaleur transportée ldv sera

$$\frac{1}{l}\left(\frac{dp}{dt}\right) dt.$$

et ne devra dépendre que la température t.

On pourra donc poser

$$\frac{dp}{dt} = \mu l, \tag{4}$$

μ étant une fonction de la température t, indépendante du véhicule employé.

Carnot admet que la chaleur empruntée au corps A s'est transportée intégralement au corps B, hypothèse qui n'est plus adoptée maintenant, mais qui, en réalité, est étrangère à l'établissement de l'équation précédente, puisque, au lieu de nous servir de l'expression de *quantité de chaleur transportée*, on aurait pu y substituer celle de *chaleur empruntée* à A. La formule (4) n'a donc rien d'incompatible avec les nouvelles idées admises sur la chaleur et que nous développerons plus loin.

6. Travail produit par le transport de la chaleur d'un corps à un autre dont la différence de température est finie, dans l'hypothèse de Carnot.

Pour transporter la chaleur Q du corps A à la température t, au corps B à la température $t - \tau$, on peut concevoir l'intervalle τ divisé en éléments égaux dt, et que le transport s'effectue successivement sans perte, de A à un corps A′ à la température $t - dt$, de A′ à un corps A″ à la température $t - 2dt$ et ainsi de suite jusqu'à B. Si μ, μ', μ''... sont les valeurs de μ correspondant aux températures t, $t - dt$, $t - 2dt$....., on a pour les travaux correspondant aux transports successifs :

$$\mu Q dt, \quad \mu' Q dt, \quad \mu'' Q dt,$$

dont la somme

$$T = Q \cdot \int_{t-\tau}^{t} \mu o l t$$

représente le travail total correspondant au transport de la chaleur Q de A à B.

D'après cette formule basée sur une hypothèse que l'on ne peut plus admettre maintenant, on pourrait augmenter indéfiniment le travail en faisant croître la différence des températures des deux corps A et B, tandis que le principe de M. Joule, comme nous le verrons, lui assigne une limite, ce qui paraît plus vraisemblable.

7. Perte de chaleur correspondant à un circuit rectangulaire élémentaire.

Supposons, comme nous l'avons déjà fait plus haut (2), que pour aller du point m au point m', on augmente de dt la température du corps sans changement de volume, l'augmentation correspondante de la pression étant mq, puis que, la température restant constante, on augmente le volume de dv, et conservons les éléments du second ordre.

La quantité de chaleur acquise de m en q est $c'dt$; au point q la chaleur latente l est devenue $l + \left(\frac{dl}{dt}\right) dt$, et par conséquent pour aller de q en m' il faut encore donner au corps la chaleur

$$dv\left[l + \left(\frac{dl}{dt}\right) dt\right],$$

soit en tout

$$c'dt + ldv + \left(\frac{dl}{dt}\right) dvdt. \tag{a}$$

Au lieu de suivre le contour mqm', on aurait pu suivre le contour $mq'm'$, mq' correspondant à l'augmentation dv du volume à la température constante t, et $m'q'$ à l'échauffement dt sous volume constant.

En q' la chaleur spécifique sous volume constant étant $c' + \frac{dc'}{dv}\,dv$, la quantité de chaleur donnée au corps est :

$$(b) \qquad l\,dt + \left[c' + \left(\frac{dc'}{dv}\right) dv\right] dt.$$

Supposons maintenant que l'état calorifique du corps soit obtenu en suivant le premier contour mqm', puis qu'on le ramène à l'état initial en suivant le contour $m'q'm$, il est clair qu'il se dégagera dans la seconde partie de l'opération une quantité de chaleur égale à celle qu'il aurait gagnée en allant de m vers m', et représentée par l'expression (b).

L'état calorifique du corps étant redevenu le même qu'au point de départ, la différence des expressions (a) et (b) ou

$$(c) \qquad \left(\frac{dl}{dt} - \frac{dc'}{dv}\right) dv\,dt$$

représente une quantité de chaleur qui a dû disparaître pour se transformer en travail, et qui ne peut pas être nulle d'après le principe de M. Joule, ce qui aurait lieu cependant si dQ était une différentielle exacte de v et de t, puisque $l = \frac{dQ}{dv}$, $c' = \frac{dQ}{dt}$. Il suit donc de là que la chaleur Q ne peut pas s'exprimer par une fonction de t et de v, et qu'elle ne s'obtiendra dans chaque cas particulier qu'en tenant compte de la relation qui le caractérise entre la température et le volume.

On reconnaît par un raisonnement identique à celui du n° 5, que l'on a développé dans l'opération précédente, un travail représenté par l'aire $mqm'q'$; la base mq de ce parallélogramme élémentaire étant $\left(\frac{dp}{dt}\right) dt$,

et sa hauteur dv, il vient pour sa surface :

$$\left(\frac{dp}{dt}\right) dt\,dv.$$

8. Formules de M. Clausius.

D'après M. Joule, le rapport de ce travail à l'expression (c) est égal à la constante A qui représente l'équivalent mécanique de la chaleur. On a donc la formule fondamentale

$$(5) \qquad \left(\frac{dl}{dt}\right) - \left(\frac{dc}{dv}\right) = \frac{1}{A}\left(\frac{dp}{dt}\right)$$

à laquelle M. Clausius est arrivé le premier par une autre voie, plus compliquée que la précédente, et surtout obscure.

De là on tire, $f(v)$ étant une fonction arbitraire de v :

$$l = \int \frac{dc}{dv}\,dt + \frac{1}{A}\,p + f(v),$$

par suite :

$$dQ = c'dt + l\,dv = c'dt + dv \int \frac{dc'}{dv}\,dt + f(v)\,dv + \frac{1}{A}\,p\,dv$$

ou

$$dQ = d\left(\int c'dt\right) + f(v)\,dv + \frac{1}{A}\,p\,dv.$$

Si donc on pose :

$$u = \int c'dt + \int f(v)\,dv,$$

u étant une fonction de p et de v, il vient :

$$(6) \qquad dQ = du + \frac{1}{A}\,p\,dv.$$

Telle est la forme sous laquelle M. Clausius donne la différentielle totale de la chaleur ; mais il nous sera plus commode de l'écrire comme il suit. Posons :

$$\frac{1}{A}\,z = \int \frac{dc'}{dv}\,dt + f(v),$$

on aura :

$$(7) \qquad dQ = c'dt + \frac{1}{A}(z+p)\,dv$$

avec la condition

$$(8) \qquad \left(\frac{dc'}{dv}\right) = \left(\frac{1}{A}\frac{dz}{dt}\right),$$

puisque $c'dt + \frac{z}{A}dv$ est une différentielle exacte.

La chaleur latente l aura ainsi pour valeur :

$$l = \frac{1}{A}(z+p).$$

Si le corps change brusquement d'état pour certaines valeurs de v, t, p, la formule (7) ne doit s'appliquer que dans chacun des intervalles déterminés par ces valeurs.

9. Signification de la fonction z. Considérations générales sur la constitution des corps.

Les corps sont, comme on le sait, des assemblages de molécules soumises à des attractions mutuelles proportionnelles à leur masses, fonction décroissante de leurs distances, et maintenues à distance par l'effet de la *chaleur latente*, qui ajoutée à la *chaleur sensible* appréciable au thermomètre constitue la chaleur totale de chaque corps.

Dans l'ancienne théorie admise par les physiciens, la chaleur latente était assimilée à une sorte de masse condensée autour des molécules, et donnant lieu à des forces répulsives qui venaient neutraliser l'effet des attractions mutuelles.

Mais maintenant qu'il est reconnu que la chaleur n'est plus assimilable à une masse, et qu'elle doit être considérée comme le résultat d'un travail mécanique, la chaleur latente d'un corps doit être envisagée sous un autre point de vue. Dans un corps solide à l'état naturel ou qui n'est soumis à aucune force, pression ou

traction extérieure, dont on augmente la température, la chaleur latente ne peut avoir d'autre objet que de vaincre les actions attractives des molécules en produisant un travail auquel elle est proportionnelle; et si le corps est soumis à une pression répartie sur sa surface, elle se composera en outre d'un terme proportionnel au travail de cette pression.

Or, dans la formule (7), $c'dt$ représente évidemment l'accroissement élémentaire de la quantité de chaleur sensible, puisqu'il se rapporte au cas où le volume restant constant, il n'y aurait pas de production de travail intérieur ou extérieur; $\frac{1}{A}(z+p)\,dv$, est par suite l'accroissement de la chaleur latente, et enfin zdv le travail élémentaire des attractions moléculaires. Il est bon de faire remarquer que ce que nous avons désigné plus haut par l n'est pas, à proprement parler, la chaleur latente de dilatation, mais bien sa dérivée par rapport au volume.

Si l'on augmente graduellement la température d'un corps solide, il finira par atteindre l'état liquide; mais ce passage n'est brusque que pour certaines substances telles que la glace, tandis que pour la plupart des métaux on passe par tous les états pâteux intermédiaires, en même temps que la chaleur totale du corps croît d'un manière continue. La dénomination de chaleur latente de fusion n'est donc qu'une manière de s'exprimer pour les corps dans lesquels la période de l'état pâteux est trop courte ou trop instable pour qu'elle soit accessible à l'observation. Dans les liquides, les forces attractives ont encore une énergie trop considérable pour que l'on puisse en négliger les effets; ainsi certains corps, tels que la fonte de fer, se contractent en passant à l'état liquide, et comme les mo-

lécules, se sont rapprochées, l'intensité des forces attractives est plus considérable que lors de l'état solide; la mobilité des molécules tient uniquement à ce que, entre certaines limites, pour une modification physique ou mécanique du liquide, l'accroissement du travail relatif aux attractions moléculaires, divisé par l'équivalent mécanique, est très-sensiblement égal et de signe contraire à celui de la chaleur latente. Enfin on sait qu'il faut, pour désagréger complétement un liquide ou le transformer en vapeur, une quantité considérable de chaleur, appelée *chaleur latente* de volatilisation, et qui est proportionnelle au travail mécanique vaincu.

Dans les gaz, les attractions moléculaire sont nulles ou négligeables, et c'est ce qui explique pourquoi, dans l'expérience de M. Joule, citée en premier lieu et répétée par M. Regnault, la température n'a pas baissé d'une manière appréciable, quoique les distances intermoléculaires aient augmenté notablement.

10. La chaleur spécifique sous volume constant ne dépend que de la température.

Les attractions moléculaires n'étant fonction que des distances des molécules qui définissent le volume du corps, zdv ou z ne peut dépendre que de v, et l'équation (8) donnant $\frac{dc'}{dv} = 0$, montre que *la chaleur spécifique sous volume constant ne dépend que de la température.* Il faut se rappeler ici qu'il ne s'agit que de corps dont l'état physique est stable, dans des limites de température, de volume ou de pression déterminées.

L'indépendance de la chaleur spécifique sous volume constant, relativement au volume ou à la pression, est d'ailleurs une conséquence naturelle des considérations suivantes basées sur le principe de M. Joule.

Soient (*fig.* 22) m_0, m_1, deux points ayant pour coordonnées (v_0, p_0), (v_1, p_1); t_0, t_1 les températures correspondantes qui sont d'ailleurs parfaitement déterminées d'après la relation $F(p, v, t) = 0$ entre la pression, le volume et la température qui caractérise la nature du corps. On n'aura plus qu'une seule variable indépendante, si l'on se donne une autre relation $\varphi(p, v, t) = 0$, choisie arbitrairement, pourvu qu'elle soit vérifiée par les valeurs de p, v, t qui particularisent les points m_0, m_1. Soit $m_0 a m_1$ le contour qui résulte de cette hypothèse, ayant v pour abscisse et p pour ordonnée. La quantité de chaleur absorbée par le corps en parcourant le contour $m_0 a m_1$ sera :

$$Q = \int_{t_0}^{t_1} c'dt + \frac{1}{A}\int_{v_0}^{v} (z+p)dv.$$

Pour ramener le corps à son état primitif, on pourra suivre un autre contour $m_1 b m_0$, défini par une condition analogue, mais différente de la première, et si l'on représente par C', Z, P, T les valeurs de c', z, p, t correspondant à ce nouveau contour et au volume v, on a pour la quantité de chaleur dégagée dans cette opération :

$$\int_{t_0}^{t_1} C'dT + \frac{1}{A}\int_{v_0}^{v} (Z+P)\,dv.$$

La quantité de chaleur qui a disparu est donc :

$$\int_{t_0}^{t_1} c'dt - \int_{t_0}^{t_1} C'dT + \frac{1}{A}\int_{v_0}^{v_1} (z-Z)\,dv + \frac{1}{A}\int_{v_0}^{v_1} (p-P)\,dz;$$

or elle doit être égale, d'après le principe de M. Joule, à $\frac{1}{A}\int_{v_0}^{v_1} (p-P)\,dz$; d'autre part le travail des actions moléculaires

$$\frac{1}{A}\int_{v_0}^{v_1} (z-Z)\,dv$$

s'est annulé; il vient donc :

$$\int_{t_0}^{t_1} c'dt = \int_{t_0}^{t_1} C'dT.$$

Il résulte de là que pour tous les contours en nombre infini que l'on peut faire passer par les points m et m_1, $\int_{t_0}^{t_1} c'dt$ doit conserver la même valeur. Or maintenant il nous est permis de considérer t comme la variable indépendante, et v dans c' comme une fonction de t à laquelle on peut donner une infinité de formes; il faut donc, pour que la conséquence précédente soit admissible, que v n'entre pas dans c', ou que $\frac{dc'}{dv} = 0$, ce qu'il fallait établir.

11. De la cohésion.

Quand on tient compte de l'élément calorifique, la définition de la cohésion dans les corps solides présente une ambiguïté. Doit-on là rapporter à l'état d'un corps dont on cherche à séparer les molécules, sans modifier sa quantité de chaleur totale, ou en maintenant sa température constante? Nous pensons qu'il faut admettre de préférence la seconde hypothèse, par cette considération que les coefficients qui entrent dans la théorie mathématique de l'élasticité ne paraissent dépendre que de la température. Si donc on suppose t constant, dQ devenant ldv, il vient :

$$(a) \qquad -pdv = (z - Al)dv.$$

Si p est négatif ou devient une traction, zdv sera positif, puisqu'il y a écartement des molécules, de même que ldv, qui doit compenser l'abaissement de température qui est produit par la dilatation du volume.

Or $-pdv$ représente le travail élémentaire relatif à la cohésion, ou celui qui est dû à l'élasticité du corps à la température t. Ce travail, comme on devait le prévoir, est donc inférieur à celui des attractions moléculaires, et la différence $Aldv$ représente, d'après l'ancienne théorie admise, le travail des forces répulsives développées par le calorique. Pour arriver à la loi de l'échauffement d'un corps, il faudrait en premier lieu être en mesure de représenter, au moins dans des limites déterminées, par une formule approximative, la fonction z de v. La théorie mathématique de l'élasticité, le seul auxiliaire que nous puissions invoquer, est insuffisante, puisqu'elle ne détermine que l'expression de $-pdv$, et que l'équation (a) comporte les deux inconnues z et l. Si l'on désigne par E le coefficient d'élasticité correspondant à la température t, et par λ et λ' deux fonctions de cette température, et par v_0 et v le volume du corps à état naturel et lorsqu'il est soumis à la traction $-p$, on démontre que

$$-pv_0 = \frac{3\lambda + 2\lambda'}{3}(v - v_0)$$

$$E = \frac{3\lambda + 2\lambda'}{1 + \frac{\lambda}{\lambda'}}.$$

D'après quelques expériences de M. Wertheim, on devrait avoir $\lambda = 2\lambda'$, par suite

$$E = \frac{3\lambda + 2\lambda'}{3},$$

et enfin

$$p = E\left[\frac{v}{v_0} - 1\right] = z - Al.$$

Il faudrait donc pour résoudre complétement la question déterminer, par expérience, les fonctions z de v, v_0 de la température, et la fonction l de v et de t qui doit d'ailleurs satisfaire à la condition que z soit indépendant de t. Nous n'insisterons pas davantage sur ces

considérations, qui d'ailleurs ne pourraient nous conduire à aucune conséquence utile pour ce qui suit.

12. Travail correspondant d'une quantité de chaleur d'après le principe de M. Joule.

Supposons d'abord que les deux corps aient les températures t et $t-dt$, et soient Q la quantité de chaleur enlevée au corps A, et dQ la quantité de chaleur consommée; $Q-dQ$ sera la quantité de chaleur transportée, et l'on a pour le travail produit AdQ; et d'après le principe de Carnot $\mu(Q-dQ)dt=\mu Q dt$, on a donc l'égalité

$$dQ = Q\mu dt.$$

En employant un raisonnement analogue à celui du n° 6, on verra que cette relation peut être considérée comme une équation différentielle, d'où l'on déduit:

$$\log.\,\text{nép.}\,Q = A\int \mu dt + \text{constante}.$$

Soient t', t'' les températures des deux corps; Q', Q'' les quantités de chaleur respectivement enlevée au premier et reçue par le second, T le travail développé, on a:

$$T = A(Q'-Q'')$$

$$\log\frac{Q'}{Q''} = \frac{1}{A}\int_{t''}^{t'}\mu dt,$$

d'où e étant la base du système néperien :

$$(9)\qquad \begin{cases} Q'' = Q' e^{-\frac{1}{A}\int_{t''}^{t'}\mu dt} \\ T = AQ''\left[1 - e^{-\frac{1}{A}\int_{t''}^{t'}\mu dt}\right]. \end{cases}$$

Telles sont les formules établies par M. W. Thomson; la seconde montre que le travail n'augmente pas indéfiniment avec la différence de températures des deux corps, qu'il ne peut pas dépasser la limite AQ'' correspondant à $t'-t''=\infty$, résultat bien différent de celui que nous avions obtenu au n° 6.

En partant des résultats obtenus par M. Regnault

sur les forces élastiques de la vapeur d'eau, et par une méthode que nous indiquerons ultérieurement, M. W. Thomson, a calculé les valeurs de μ pour un grand nombre de températures, et en transformant les valeurs qu'il a obtenues en mesures françaises, on a le tableau suivant :

t	μ	t	μ	t	μ	t	μ
1°	1,512	61	1,285	121	1,120	181	1,015
11	1,471	71	1,252	131	1,099	191	1,002
21	1,431	81	1,222	141	1,080	201	0,989
31	1,393	91	1,193	151	1,062	211	0,977
41	1,356	101	1,167	161	1,045	221	0,966
51	1,320	111	1,142	171	1,030	231	0,955

En prenant $A=423,5$ et supposant $t''=0$, on forme à l'aide de valeurs de μ déduites des précédentes, et en appliquant les formules (9) le tableau suivant :

t'	TRAVAIL PRODUIT par unité de chaleur enlevée à la source $\frac{T}{Q'}^{km}$	CHALEUR transformée en travail par unité $\frac{Q'-Q''}{Q'}$	QUANTITÉ proportionnelle de chaleur transportée $\frac{Q''}{Q'}$
1	1,507	0,00356	0,99644
10	14,64	0,00346	0,9654
20	28,46	0,067	0,933
30	41,30	0,098	0,902
40	53,40	0,127	0,873
50	65,1	0,154	0,846
60	75,7	0,179	0,821
70	86,1	0,204	0,796
80	95,9	0,227	0,773
90	105,0	0,248	0,752
100	113,8	0,269	0,731
110	122,2	0,289	0,711
120	130,0	0,308	0,692
130	137,7	0,325	0,675
140	144,9	0,343	0,657
150	151,9	0,359	0,641
160	158,7	0,375	0,625
170	165,1	0,390	0,610
180	171,2	0,404	0,596
190	177,3	0,418	0,582
200	183,8	0,432	0,568
210	188,3	0,445	0,555
220	193,6	0,457	0,543
230	197,9	0,470	0,530
∞	423,5	1,000	0,

Le coefficient d'effet utile représenté par les chiffres de la troisième colonne sera donc d'autant plus grand que la température du corps chaud sera plus considérable. Ainsi, sous le point de vue actuel, il y aurait avantage à employer des machines à vapeur à haute pression. Mais nous reviendrons plus loin sur l'application des principes précédents aux machines à vapeur.

13. Relations entre les différents éléments calorifiques d'un corps, quelle qu'en soit la nature.

En groupant les formules obtenues plus haut, et conservant leurs numéros, on a :

$$(3) \qquad l = \frac{c - c'}{\beta v},$$

$$(4) \qquad \frac{dp}{dt} = \mu l,$$

$$(5) \qquad \frac{dl}{dt} = \frac{1}{A}\frac{dp}{dt} + \frac{dc'}{dt}.$$

L'élimination de l entre (3) et (4) et entre (4) et (5) conduit aux relations

$$(10) \qquad c - c' = \frac{\beta v}{\mu},$$

$$(11) \qquad \frac{d\frac{1}{\mu}\frac{dp}{dt}}{dt} - \frac{1}{A}\frac{dp}{dt} = \frac{dc'}{dv}.$$

La première donne une relation entre les deux chaleurs spécifiques, la seconde fournira par une intégration lorsque nous aurons déterminé la fonction μ, la loi de la chaleur spécifique sous volume constant, lorsqu'on fait varier le volume.

On a aussi (n° 8) :

$$(12) \qquad l = \frac{z + p}{A} = \frac{c - c'}{\beta v},$$

et pour les gaz où z est négligeable :

$$(13) \qquad p = \frac{A(c - c')}{\beta v} = Al = \frac{A}{\mu}\frac{dp}{dt}.$$

Dans le cas général où le corps ne peut pas éprouver dans des limites déterminées de modification dans sa constitution physique, on a $\frac{dc'}{dv} = 0$ et l'équation (11) devient :

$$(11') \qquad 0 = \frac{d\frac{1}{\mu}\frac{dp}{dt}}{dt} - \frac{1}{A}\frac{dp}{dt}$$

et donnera la loi de variation de la pression avec la température.

14. Théorie de M. Reech.

L'extension donnée par M. Reech aux principes de S. Carnot et de M. Joule est basée sur le raisonnement suivant :

Soient T le travail moteur résultant de l'emprunt de la quantité de chaleur Q au corps A à la température t, Q′ la quantité de chaleur correspondante versée dans la source B à la température t', T_1 le travail résistant dû à l'emprunt de la quantité de chaleur Q'_1 à B′ et au versement de $Q_1 > Q_1'$ dans A. En opérant n fois de la première manière et n_1 fois de la seconde, il en résulte un excès de travail moteur égal à

$$nT - n_1T_1.$$

De A on a fait sortir la quantité de chaleur

$$nQ - n_1Q_1,$$

et de B

$$n_1Q'_1 - nQ'.$$

On peut supposer que Q′, Q'_1 sont choisis de manière à se trouver représentés par des nombres entiers, et comme n, n_1 sont des nombres entiers quelconques, on peut conduire les opérations de telle sorte que B n'éprouve ni perte ni gain de chaleur, ou que

$$n_1Q'_1 - nQ' = 0.$$

Si donc on désigne par N un multiple quelconque de Q', Q'_1, on n'aura qu'à supposer

$$n=\frac{N}{Q'},\quad n_1=\frac{N}{Q'_1};$$

le travail moteur ci-dessus se mettra sous la forme

$$(\alpha)\qquad N\left(\frac{T}{Q'}-\frac{T_1}{Q'_1}\right),$$

et la quantité de chaleur enlevée à A,

$$(\beta)\qquad \left(\frac{Q}{Q'}-\frac{Q_1}{Q'_1}\right).$$

Or le rapport de (α) à (β) ne peut dépendre que de la température t de A, puisque B n'a éprouvé ni perte ni gain de chaleur, et que l'on serait arrivé au même résultat en y substituant une autre source à une température différente. On devra donc poser :

$$\frac{\dfrac{T}{Q'}-\dfrac{T_1}{Q'_1}}{\dfrac{Q}{Q'}-\dfrac{Q_1}{Q'_1}}=f(t).$$

En opérant de la même façon, mais en s'arrangeant de manière que A n'éprouve ni perte ni gain de chaleur, on aura de même :

$$\frac{\dfrac{T}{Q}-\dfrac{T_1}{Q_1}}{\dfrac{Q'_1}{Q_1}-\dfrac{Q'}{Q}}=f(t'),$$

d'où l'on déduit :

$$(\gamma)\qquad \begin{cases} T=Qf(t)-Q'f(t'),\\ T'=Q'f(t)-Q'_1f(t'). \end{cases}$$

La démonstration de ces formules serait en défaut si l'on avait $\frac{Q}{Q'}=\frac{Q_1}{Q'_1}$ puisque alors on aurait $\frac{T}{T_1}=\frac{Q}{Q_1}=\frac{Q'}{Q'_1}$;

mais nous ne nous arrêterons pas à ce cas particulier, que l'on doit d'ailleurs faire rentrer dans le cas général par des considérations de limites.

Si l'on admet que $t'=t-dt$, ou que les températures des deux sources soient infiniment peu différentes l'une de l'autre, on aura :

$$T=f(t)(Q-Q')+f'(t)Q\,dt.$$

Or si, comme aux nos 5, 7, 8, on ne considère que des modifications infiniment petites éprouvées par le véhicule de la chaleur dans son volume, on a :

$$T=\frac{dp}{dt}\,dv\,dt,$$
$$Q=l\,dv,$$
$$Q-Q'=\left(\frac{dl}{dt}-\frac{dc'}{dv}\right)dv\,dt,$$

et par suite, en posant pour simplifier $A=f(t)$:

$$\frac{dl}{dt}+\frac{l\,d\log.A}{dt}=\frac{dc'}{dv}+\frac{1}{A}\frac{dp}{dt},$$

équation linéaire en l dont l'intégrale est :

$$l=\frac{1}{A}\left[z+p+\int A\frac{dc'}{dv}\,dt\right],$$

z étant une fonction de v seul. On tire de là :

$$dQ=l\,dv+c\,dt=\frac{z}{A}\,dv+\frac{1}{A}p\,dv+\frac{1}{A}\left[c'A\,dt+\int A\frac{d\,c'}{dv}\,dv\right].$$

Or $c'dt$ est l'accroissement élémentaire de la chaleur sensible, et par suite $z\,dv+\int A\frac{dc}{dv}\,dv$ représente le travail élémentaire des forces attractives, lequel n'est fonction que de v, et comme A est une fonction de t, il faut par suite que $\frac{dc'}{dv}=0$; il vient donc :

$$dQ=c'dt+\frac{1}{A}(z+p)\,dv,$$

formule équivalente à la formule (7) du n° 8, à cette différence près que A, au lieu d'être constant, peut être fonction de t.

On voit en résumé que l'hypothèse de M. Reech revient à supposer que l'équivalent mécanique dépend de la température. Nous n'insisterons pas sur l'application que l'on peut faire de cette généralisation aux gaz et aux vapeurs, puisque jusqu'ici il n'y a aucune raison pour supposer A variable.

§ 2. *Théorie des gaz permanents.*

15. Application de la formule de M. Clapeyron.

Soient p_0 la pression atmosphérique, ϖ_0 la densité correspondante à la température o, α le coefficient de dilatation du gaz, on a :

$$\frac{pv}{1+\alpha t} = \frac{p_0}{\varpi_0}, \tag{14}$$

d'où

$$\frac{dp}{dt} = \frac{p_0}{\varpi_0}\frac{\alpha}{v}.$$

On a par suite :

$$l = \frac{dQ}{dv} = \frac{p_0\alpha}{\varpi_0 v}\cdot\frac{1}{\mu},$$

d'où

$$Q = \frac{p_0\alpha}{\varpi_0\mu}\Big[\log v + F(t)\Big],$$

F étant une fonction de la température.

Si l'on a égard à la relation (14), on voit que Q peut se mettre sous cette autre forme :

$$Q = \frac{p_0\alpha}{\varpi_0}\Big[f(t) - \frac{1}{\mu}\log \text{hyp. } p\Big],$$

$f(t)$ étant une autre fonction de la température.

Si, sans changer la température, on fait varier le volume du gaz, et si l'on désigne par Q_1, v_1, p_1 les valeurs initiales de Q, v, p, on obtient :

$$Q - Q_1 = \frac{p_0\alpha}{\varpi_0\mu}\log\frac{p_1}{p} = \frac{p_0\alpha}{\varpi_0\mu}\log\frac{v}{v_1}. \tag{15}$$

Le coefficient μ étant le même pour tous les gaz, on déduit de cette équation les conséquences suivantes :

1° *Des volumes égaux de tous les fluides élastiques pris à la même température, étant comprimés ou dilatés d'une même fraction de leur volume, dégagent ou absorbent la même quantité absolue de chaleur*, loi découverte expérimentalement par Dulong.

2° *Les quantités de chaleur absorbées ou dégagées par le gaz sont en progression arithmétique, si les accroissements ou réductions de volume sont en progression géométrique.* Cet énoncé se trouve dans l'ouvrage de S. Carnot.

3° *Des volumes égaux de tous les gaz pris à la même température, étant comprimés ou dilatés d'une même fraction de leur volume, dégagent ou absorbent des quantités de chaleur proportionnelles à la pression.*

16. Application du principe de M. Joule.

De l'équation (14) on tire :

$$\frac{dv}{dt} = v\beta = \frac{p_0}{\varpi_0}\frac{\alpha}{p},$$

et l'équation (1) devient :

$$dQ = c'dt + \frac{(c-c')\varpi_0}{\alpha p_0}pdv, \tag{16}$$

et le travail produit pdv est mis en évidence dans la portion de chaleur qui l'a produit; on a donc :

$$(c-c')\frac{\varpi_0}{\alpha p_0} = \frac{1}{A},$$

d'où

$$\frac{c}{c'} - 1 = \frac{1}{A}\frac{\alpha p_0}{c\varpi_0}. \tag{17}$$

17. Lois des chaleurs spécifiques.

Si l'on remarque que $c\varpi_0$ est la chaleur spécifique sous volume constant rapporté au volume, on voit que :

Le rapport des chaleurs spécifiques sous pression constante et sous volume constant diminué de l'unité, varie en raison inverse de la chaleur spécifique sous volume constant rapportée au volume. Loi que Dulong a déduite de ses expériences.

D'après les expériences de M. Regnault, la chaleur spécifique d'un gaz sous pression constante est indépendante de la pression ; elle est indépendante de la température pour l'air et probablement pour tous les gaz qui suivent la loi de Mariotte, ou dont l'état physique est suffisamment éloigné du point de saturation. Il y a lieu de supposer également que ceux dont la compressibilité suit une loi plus rapide se conduiraient comme l'acide carbonique et qu'ils auraient des chaleurs spécifiques plus faibles à mesure qu'ils s'approcheraient de leur point de condensation. Il paraît résulter de là et de la formule (10) que les capacités calorifiques sous volume constant sont également constantes ; ce que Welter et Gay-Lussac ont démontré d'ailleurs pour l'air.

18. Valeur de l'équivalent mécanique déduite de la chaleur spécifique des gaz.

Je suppose avec M. Regnault

$$\alpha = 0{,}00367$$
$$\varpi_0 = 1{,}293187$$
$$c = 0{,}2377$$

avec M. Masson

$$\frac{c}{c'} = 1{,}419$$

p_0 étant égal à 10333 ; on tire de la formule (17) :

$$A = 424,$$

chiffre qui ne s'éloigne pas beaucoup de ceux de M. Joule.

19. Chaleur spécifique des gaz sous volume constant. Application à la vapeur d'eau.

De la même formule on tire :

$$(18) \qquad \frac{c}{c'} = \frac{1}{1 - \frac{1}{A}\frac{\alpha p_0}{\varpi_0 c}},$$

et l'on pourra facilement calculer la chaleur spécifique d'un gaz sous volume constant, lorsque l'on aura obtenu par l'expérience la chaleur spécifique sous pression constante.

Pour la vapeur d'eau éloignée du point de saturation, M. Regnault a obtenu $c = 0{,}475$; on a :

$$\varpi_0 = 1{,}293185 \times 0{,}62,$$

en prenant 0,62 pour la densité de la vapeur rapportée à celle de l'air ; et si l'on suppose $A = 424$, on trouve

$$\frac{c}{c'} = 1{,}31$$

20. Détermination de la fonction μ.

L'équation (14) nous a donné :

$$\frac{dp}{dt} = \frac{p_0}{\varpi_0}\frac{\alpha}{v},$$

d'où

$$\frac{1}{p}\frac{dp}{dt} = \frac{\alpha}{1 + \alpha t}.$$

Cette valeur portée dans l'équation (13) conduit à l'expression

$$(19) \qquad \mu = \frac{A\alpha}{1 + \alpha t}.$$

Si l'on prend les valeurs de $\frac{1}{\mu}$ fournies par cette formule, correspondant à $t = 35°,5 - 78°,8 - 100° - 156°,8$, on trouve qu'elles sont entre elles comme

$$1, \quad 1{,}14, \quad 1{,}21, \quad 1{,}39$$

La table de M. W. Thomson que l'on trouve au n° 12, donne pour ces rapports :

$$1, \quad 1{,}12, \quad 1{,}17, \quad 1{,}31$$

Enfin M. Clapeyron, d'après une méthode de calcul que nous indiquerons plus loin, trouve :

$$1, \quad 1{,}13, \quad 1{,}22, \quad 1{,}27$$

Les termes semblables de ces trois séries diffèrent assez peu les uns des autres pour que l'on puisse rejeter les différences sur les erreurs d'expériences et la diversité des éléments employés à constituer ces deux dernières.

21. Lois de la dilatation d'un gaz dont la quantité de chaleur reste constante.

Supposons que l'on dilate ou que l'on comprime un gaz placé dans des conditions telles qu'il ne puisse recevoir aucune quantité de chaleur des corps environnants. C'est ce qui a lieu quand l'opération est brusque, comme lorsque l'on veut produire le phénomène connu du briquet à air.

La formule (16) donne dans ce cas, en posant $dQ=0$ et $\frac{c}{c'}=\gamma$:

$$dt+(\gamma-1)\frac{\varpi_0}{\alpha p_0}\,pdv=0,$$

ou, eu égard à l'équation (14),

$$(1+\alpha t)\alpha dt+(\gamma-1)\frac{dv}{v}=0.$$

Si l'on suppose α et γ constants, on tire de là, en désignant par v_1, p_1 les valeurs de p et v correspondant à la température t_1 :

$$\frac{1+\alpha t}{1+\alpha t_1}=\left(\frac{v_1}{v}\right)^{\gamma-1}, \tag{20}$$

et comme $\frac{pv}{1+\alpha t}=\frac{p_1v_1}{1+\alpha t_1}$, il vient :

$$\frac{p}{p_1}=\left(\frac{v_1}{v}\right)^{\gamma}. \tag{21}$$

Les formules (20) et (21) sont celles que donne Poisson dans son traité de mécanique (1).

22. Loi de la dilatation des gaz dont la température reste constante.

En supposant t constante ou $dt=0$, l'équation (16) ou son équivalente

$$dQ=c'dt+\frac{pcdv}{A}$$

donne, en ayant égard à la formule (14) :

$$dQ=\frac{1}{A}\,p_0v_0(1+\alpha t)\frac{dv}{v},$$

d'où, en appelant Q_1 la chaleur correspondant au volume v_1 et à la pression p_1,

$$Q-Q_1=\frac{1}{A}\,p_0v_0(1+\alpha t)\log\frac{v}{v_1}=\frac{1}{A}\,p_1v_1\log\frac{v}{v_1}, \tag{22}$$

formule identique à l'équation (15) et dont on tire les mêmes conséquences.

23. Relation entre la pression, le volume et la température dans un corps quelconque.

Si l'on porte la valeur de μ donnée par la formule (19) dans l'équation (11) du n° 13, on trouve que $\frac{(1+\alpha t)}{\alpha}\frac{d^2p}{dt^2}=0$, ou $\frac{d^2p}{dt^2}=0$, dont l'intégrale peut se mettre sous la forme

$$\frac{p\varphi(v)}{1+\psi(v)t}=\text{constante}, \tag{23}$$

φ et ψ étant deux fonctions caractérisant la nature du corps. On voit ainsi que la pression devrait varier proportionnellement à la température lorsque le volume reste constant.

---

(1) Poisson les a établies en posant une équation un peu moins générale que l'équation (1), en partant des mêmes principes; et la théorie de l'équivalent mécanique n'intervient ici que pour démontrer que le rapport γ peut être considéré comme constant.

§ 3. *Des vapeurs à saturation.*

24. Application de la théorie de Carnot.

Considérons une vapeur à t_0 en contact avec son liquide, le tout sous l'unité de poids, et soient

p la pression,
u le volume total,
ρ la densité de la vapeur,
ε son rapport à celle du liquide,
r la chaleur latente de volatilisation du liquide à t_0,
v le volume occupé par la vapeur.

En prenant (*fig.* 23) pour abscisses $oa = u$ et $am = p$, on obtient le point m. Si l'on comprime la vapeur de manière à l'amener à la température $t + dt$, la pression s'élèvera graduellement et deviendra $nb = p\frac{dp}{dt}dt$, en même temps qu'une certaine quantité de vapeur se condensera. Arrivé à ce point, supposons que l'on augmente de bb' le volume total, en maintenant la température constamment égale à $t + dt$, il se formera un certain volume de vapeur dv au détriment du liquide; la pression restera constante et égale à nb, et l'on aura ainsi une droite mm' parallèle à oa. Cette seconde opération suppose qu'un corps ou source de chaleur A à la la température $t + dt$, cède à la masse la quantité de chaleur $\rho r dv$. En continuant maintenant la dilatation hors de la présence du corps A, on pourra ramener la température à $t°$ et la pression à p; il se formera en même temps une nouvelle quantité de vapeur, et l'on arrivera au point m' ayant même ordonnée que le point m. Enfin en comprimant la vapeur de manière à la ramener à son état primitif, ou au point m, sous la pression constante p, il devra se dégager une quantité de vapeur qui serait égale d'après Carnot à $\rho r dv$, et

que l'on devra considérer comme absorbée par une source de froid B à la température t.

L'augmentation nn' du volume total étant égale à celle dv du volume de la vapeur, diminuée du volume εdv de l'eau qui s'est transformée en vapeur, on a :

$$nn' = dv(1 - \varepsilon),$$

et l'aire du parallélogramme élémentaire $nmm'n'$ sera :

$$(a) \qquad (1 - \varepsilon)\, dv \frac{dp}{dt}\, dt$$

et représentera le travail correspondant au transport de la chaleur $\rho r dv$ de A à B. On a donc, en désignant par μ la même fonction de t qu'au n° 5 :

$$(24) \qquad \frac{(1 - \varepsilon)}{r\rho}\frac{dp}{dt} = \mu.$$

C'est cette formule qui a permis d'abord à M. Clapeyron de calculer les valeurs de μ pour quelques températures et en employant diverses substances, puis à M. W. Thomson de calculer la première table du n° 12, en partant des résultats obtenus par M. Regnault sur les forces élastiques de la vapeur d'eau.

Nous avons réuni dans le tableau suivant les chiffres obtenus par M. Clapeyron, en plaçant en regard ceux de M. W. Thomson.

	Valeur de $\frac{dp}{dt}$ en atmosphères à la température d'ébullition.	Densité par rapport à l'air.	Chaleur latente par kilog. de vapeur.	Température d'ébullition.	μ	μ d'après M. Thompson.
Ether sulfurique. . . .	$\frac{1}{28,12}$	2,280	90,8	35,5	1,365	1,375
Alcool.	$\frac{1}{25,19}$	1,258	207,7	78,8	1,208	1,226
Eau.	$\frac{1}{29,1}$	0,451	543,0	100,0	1,115	1,167
Essence de térébenthine	$\frac{1}{30}$	3,207	76,8	156,8	1,078	1,051

Si l'on a égard à l'imperfection des données admises par M. Clapeyron, on peut regarder cette table comme assez favorable à l'idée de la constance du coefficient μ pour tous les corps.

25. De la densité de la vapeur d'eau au maximum de tension.

Si l'on porte dans la formule (24) la valeur $\mu = \frac{A\alpha}{1+\alpha t}$ que nous avons trouvée au n° 20, elle donne

$$\rho = \frac{1}{A}\frac{(1+\alpha t)}{\alpha r}(1-\varepsilon)\frac{dp}{dt}. \qquad (25)$$

Soient δ la densité de la vapeur rapportée à celle de l'air; ϖ le poids du mètre cube d'air sous la pression atmosphérique P et à la température zéro, on a

$$\rho = \frac{\delta\varpi p}{(1+\alpha t)P},$$

d'où

$$\delta = \frac{(1-\varepsilon)P}{A\alpha\varpi}\frac{(1+\alpha t)^2}{r}\cdot\frac{1}{p}\frac{dp}{dt},$$

formule dans laquelle on pourra remplacer la fonction p de t par le produit de cette fonction par un coefficient constant quelconque. De sorte qu'il nous est permis d'estimer p en millimètres de mercure.

Si m représente le module du système de logarithmes de Briggs, on a :

$$\delta = \frac{(1-\varepsilon)P}{A\alpha\varpi m}\cdot\frac{(1+\alpha t)^2}{r}\frac{d}{dt}(\log p).$$

En adoptant pour la vapeur d'eau la formule d'interpolation de M. Biot, dont les coefficients ont été déterminés par M. Regnault, on a :

$$\log p = a - b\beta^{t+20} - c\gamma^{t+20},$$

d'où

$$\frac{d}{dt}(\log p) = -\frac{b\log\beta\,.\,\beta^{20}}{m}\left[\beta^t + \frac{c\log\gamma}{b\log\beta}\left(\frac{\gamma}{\beta}\right)^{20}\gamma^t\right].$$

D'autre part si c désigne la chaleur spécifique de l'eau, on a d'après M. Regnault, pour la chaleur totale de la vapeur d'eau :

$$606,5 + 0,305t = r + \int_0^t c\,dt,$$

et

$$c = 1 + 0,00004t + 0,000000gt^2,$$

d'où

$$r = 606,5 - 0,695t - \frac{2}{10^5}t^2 - \frac{3}{10^7}t^3,$$

ou encore

$$r = 606,5\left[1 - 0,001146t - \frac{33}{10^9}t^2 - \frac{5}{10^{10}}t^3\right].$$

Il suit de là que, en posant :

$$M = \frac{Pb\log\beta\,.\,\beta^{20}}{A\varpi\alpha\,606,5\times m^2},$$

$$N = \frac{c\log\gamma}{b\log\beta}\left(\frac{\gamma}{\beta}\right)^{20},$$

il vient :

$$\delta = (1-\varepsilon)\,M\,.\,\frac{[\beta^t + N\gamma^t]\,[1+\alpha t]^2}{1-0011146t - \frac{33}{10^9}t^2 - \frac{5}{10^{10}}t^3}. \qquad (26)$$

Or on a :

$\log b = 0,1397743$ $\log\beta = \bar{1},994049292 = -0,005950708$
$\log c = 0,6924351$ $\log\gamma = \bar{1},998343862 = -0,001656138$
$\varpi = 1,293189$, $\alpha = 0,00367$, $m = 0,4342945$, $P = 10333$

d'où l'on déduit :

$$(27)\qquad \begin{cases} M = 118{,}832 \\ \log N = 0{,}0830800 \qquad N = 1{,}21082 \end{cases}$$

M. Clausius, au lieu de prendre pour point de départ la formule ci-dessus de MM. Biot et Regnault, représente la densité de la vapeur saturée par une nouvelle formule empirique qui ne renferme qu'une exponentielle. Quoique, à notre avis, il soit superflu de représenter par une formule d'interpolation, une expression que l'on peut déduire mathématiquement d'autres formules considérées comme exactes, nous indiquerons cependant la méthode employée par M. Clausius.

La formule (25) peut se mettre sous la forme

$$(28)\qquad \frac{p(1-\varepsilon)}{A\rho(1+\alpha t)} = \frac{r}{(1+\alpha t)^2 \frac{1}{p}\frac{dp}{dt}}$$

M. Clausius a calculé les valeurs du second membre de cette équation, pour des valeurs de t équidistantes de 10°, en remarquant que l'on peut prendre approximativement, n étant un nombre entier,

$$\left(\frac{1}{p}\frac{dp}{dt}\right)_{t=10n+5} = \frac{\log \text{hyp. } p_{10(n+1)} - \log \text{hyp. } p_{10n}}{10^n},$$

et il a été conduit à représenter ce second membre, par suite le premier, par l'expression

$$(29)\qquad m - nK^t = \frac{p(1-\varepsilon)}{A\rho(1+\alpha t)} = \frac{\alpha r}{(1+\alpha t)^2 \frac{1}{p}dp}$$

dans laquelle

$$m = 31{,}549, \quad n = 1{,}0486, \quad K = 1{,}007161$$

Le tableau suivant met en parallèle les valeurs de

$\frac{\alpha r}{(1+\alpha t)^2 \frac{1}{p}\frac{dp}{dt}}$ déduites de l'expérience, et celles de $m - nk^t$.

t	$\frac{1}{A}\frac{p}{\rho}(1-\varepsilon)\frac{1}{1+\alpha t}$ d'après l'expérience.		$\frac{1}{A}\frac{p}{\rho}(1-\varepsilon)\frac{1}{1+\alpha t}$ d'après la formule (29).	Différences.		Observations.
−15°	30,61		30,61	0,00		
− 5	29,21		30,54	+ 1,33		
5	30,93		30,46	− 0,47		
15	30,60		30,38	− 0,22		
25	30,40		30,30	− 0,10		
35	30,23		30,20	− 0,03		
45	30,10		30,10	0,00		
55	29,98		30,00	+ 0,02		
65	29,88		29,88	0,00		
75	29,76		29,76	0,00		
85	29,65		29,63	− 0,02		
95	29,49		29,48	− 0,01		
		(a)			(a)	
105	29,47	29,50	29,33	− 0,14	− 0,17	
115	29,16	29,02	29,17	+ 0,01	+ 0,15	
125	28,89	28,93	28,99	+ 0,10	+ 0,06	
135	28,88	29,01	28,80	− 0,08	− 0,21	
145	23,65	28,40	28,60	− 0,05	+ 0,20	
155	28,16	28,25	28,38	+ 0,22	+ 0,13	
165	28,02	28,19	28,14	+ 0,12	− 0,05	
175	27,84	27,90	27,89	+ 0,05	− 0,01	
185	27,76	27,67	27,62	− 0,14	+ 0,05	
195	27,45	27,20	27,33	− 0,12	+ 0,13	
205	26,89	26,94	27,02	+ 0,13	− 0,08	
215	26,56	26,79	26,68	+ 0,12	− 0,11	
225	26,64	26,50	26,32	− 0,32	− 0,18	

(a) D'après le tracé graphique de M. Regnault.

On voit que les chiffres de la seconde colonne varient d'une manière notable, ce qui n'aurait pas lieu vu la petitesse de ε, si la vapeur d'eau se comportait comme un gaz permanent, et que la formule (29) présente une exactitude assez satisfaisante.

Nous avons trouvé :

$$\rho = \delta \cdot \frac{1{,}2932 \cdot p}{(1+\alpha t)10333},$$

et en négligeant ε, la formule (29) devient :

$$(30)\qquad \delta = \frac{10333}{A \cdot 1{,}2932(m - n^{K^t})}$$

Sous cette forme qui est plus simple, mais moins exacte que l'expression (26), on voit clairement que δ va en diminuant avec t, ce qui est conforme à l'expérience.

Soit δ_0 la valeur de δ pour $t = 0$, il vient :

$$\delta_0 = \frac{10333}{A \cdot 1{,}2932\,(m - n)},$$

$$\delta = \frac{\delta_0\,(m - n)}{m - nK^t}. \tag{31}$$

26. Comparaison avec l'expérience.

Le cahier du mois de mars 1861, du *Philosophical Magazine* mentionne les résultats d'expériences exécutées par MM. Fairbairn et Tate pour la détermination de la densité de la vapeur d'eau saturée à diverses températures ; et l'on trouve, dans le compte rendu de la séance du 8 avril suivant, un tableau de M. Clausius, dans lequel il met en parallèle les résultats ci-dessus et les chiffres auxquels il est conduit par l'application de sa formule.

En premier lieu, M. Clausius considérant que la densité de la vapeur rapportée à celle de l'air va en diminuant avec la température, estime par cela même qu'elle se rapproche de plus en plus de l'état de gaz permanent ; et il est ainsi conduit à admettre que pour $t = 0$, δ ou δ_0 est sensiblement égale à la densité théorique 0,622 (1). Cette hypothèse se trouve

(1)

Deux volumes d'hydrogène pèsent	0,1382
Un volume d'oxygène pèse	1,1055
Deux volumes de vapeur d'eau	1,2437
dont la moitié est	0,6219

M. Regnault a trouvé moins de 0,621 dans certaines expériences (*Annales de chimie et de physique*, t. XV, 3e série) et M. Cahours (*Traité de physique* de M. Jamin), 0,6192 et 0,6182 pour de la vapeur saturée sous une atmosphère et surchauffée

d'ailleurs justifiée par les expériences de M. Regnault sur la densité de la vapeur à des basses températures (1).

La première des équations (31) donne par suite

$$A = 421,$$

chiffre peu différent de ceux que nous avons trouvés plus haut.

En appelant D la densité de l'eau et supposant $A = 421$, la formule (29) se met sous la forme

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{D} = \frac{421}{p}(1 + \alpha t)\,[m - nK^t],$$

et permet de calculer le volume $\frac{1}{\rho}$ occupé par un kilogramme de vapeur saturée. Mais si les chiffres obtenus de cette manière ne diffèrent pas beaucoup de ceux de MM. Fairbairn et Tate, ce n'est pas une raison, suivant nous, pour attribuer aux expériences de ces physiciens l'exactitude que l'on a le droit d'exiger. Et en effet, en rapportant à l'air les densités obtenues par eux, on ne retrouve pas cette loi de continuité que doit présenter dans des circonstances ordinaires tout phénomène naturel. Leur procédé consiste à introduire dans un ballon entouré d'une atmosphère de vapeur saturée dont on peut augmenter la pression, un poids déter-

de 50° à 100°. Ce qui paraîtrait indiquer que la valeur ci-dessus de la densité théorique est un peu forte, et la différence ne pourrait être dès lors attribuée à l'incertitude qui règne sur les derniers chiffres des éléments d'où on l'a déduite.

Cette observation, d'ailleurs, ne peut que rendre plus plausible l'hypothèse de $\delta_0 = 0{,}622$, puisque à 0° la vapeur saturée n'est pas encore à proprement parler un gaz permanent, et qu'elle doit avoir une densité un peu supérieure à la densité théorique.

(1) *Annales de physique et de chimie*, t. XV, série 23.

miné d'eau. Un tube en U renfermant du mercure, faisant communiquer le ballon avec l'enveloppe de vapeur, a permis de reconnaître le moment où la pression était la même de part d'autre, et par conséquent la tension de la vapeur du ballon qui se trouvait strictement au point de saturation. La quatrième colonne du tableau suivant, que nous avons annexé à celui de M. Clausius, met en évidence, pour un certain nombre de ces expériences, la discontinuité dont nous venons de parler.

t	VOLUME D'UN KILOGRAMME DE VAPEUR ou $\frac{1}{\rho}$		DENSITÉ OBSERVÉE rapportée
	d'après l'équation 28.	d'après MM. Fairbain et Tate.	à celle de l'air.
58°,21	8,23	8,27	0,623
68 ,52	5,29	5,33	0,631
70 ,76	4,83	4,91	0,626
77 ,18	3,74	3,72	0,642
77 ,49	3,69	3,71	0,636
79 ,40	3,43	3,43	0,641
83 ,50	2,94	3,05	0,617
86 ,83	2,60	2,62	0,636
92 ,66	2,11	2,15	0,628
117 ,17	0,947	0,941	0,655
118 ,23	0,917	0,906	0,660
118 ,46	0,911	0,891	0,673
124 ,17	0,769	0,758	
128 ,41	0,681	0,648	
130 ,67	0,639	0,634	
131 ,78	0,619	0,604	
134 ,87	0,569	0,583	
137 ,46	0,530	0,514	
139 ,21	0,505	0,496	
141 ,81	0,472	0,457	
142 ,36	0,465	0,448	
144 ,74	0,437	0,432	

Nous devons signaler ici deux faits contradictoires. M. Regnault, dans ses études sur l'hygromètre, a trouvé pour $t = 30°,82$, $\delta = 0,64693$, et en négligeant ε et les termes en t^2 et en t^3 du dénominateur de la formule (26), on obtient :

$$M = 0,29080, \quad \log M = \bar{1},4636265$$

d'où

$$A = 408,16$$

et pour

$$t = 0, \quad \delta_0 = 0,643$$
$$t = 100, \quad \delta = 0,663$$

On arriverait ainsi d'une part, pour l'équivalent mécanique, à un chiffre trop faible relativement à ceux que nous avons obtenus plus haut, quoique cependant il cadre assez bien avec les résultats de quelques expériences de M. Hirn sur les machines à vapeurs ; d'un autre côté, la densité de la vapeur d'eau à zéro serait bien supérieure à 0,622 contrairement aux résultats obtenus à de basses températures par M. Regnault. A la vérité, cet illustre physicien remarque que le chiffre ci-dessus qui nous a servi de base peut être exagéré en raison, soit d'une condensation normale aux environs du point de saturation, soit d'une condensation sur la paroi interne du ballon de verre de l'expérience.

Si nous avions supposé $\delta_0 = 0,622$, on aurait dû obtenir $A = 408,16 \times \frac{0,64693}{0,622} = 421,54$, chiffre qui diffère peu de celui de M. Clausius, et pour $t = 100$, $\delta = 0,663 \times \frac{0,622}{0,64693} = 0,64182$, tandis que d'après quelques expériences de M. Cahours mentionnées dans le *Traité de physique* de M. Jamin, la vapeur saturée à une atmosphère, surchauffée à 107, à 110 degrés, aurait respectivement pour densité 0,645 — 0,640. Mais il y a tout lieu de supposer que ces chiffres sont exagérés, par la même raison que celles que nous avons données plus haut.

Il paraît résulter de ce qui précède que la densité de

la vapeur est un peu plus faible que 0,622 ; et en effet, si l'on jette les yeux sur les tableaux publiés par M. Regnault dans ses *Études sur l'hygromètre*, on reconnaît que les poids de vapeur calculés sont en général un peu supérieurs aux poids observés, et que la différence relative a pour limites o et $\frac{1}{100}$. L'accord sera plus satisfaisant en réduisant la densité théorique de $\frac{1}{200}$ et en l'estimant à 0,6190. On parvient également à ce chiffre au moyen du tracé graphique qui représente le mieux les résultats des expériences de M. Cahours.

27. Formule de M. Clausius basée sur le principe de M. Joule.

Désignons par c la chaleur spécifique du liquide à $t°$, par hdt la quantité positive ou négative de chaleur dégagée par kilogramme de vapeur, lorsque sa température augmentant de dt, on la dilate de manière à ce qu'elle reste toujours au maximum de tension.

En nous reportant aux notations et à l'opération du n° 24 (*fig.* 23), soient :

dx le poids de vapeur qui s'est condensée en allant de m en n;

dy le poids d'eau volatilisée en allant de n en n'.

De m en n, la quantité de chaleur rdx résultant de la condensation du poids dx de vapeur, a été employée à augmenter dt la température de l'eau et celle de la quantité primitive z de vapeur. On a donc :

$$(\alpha) \qquad rdx = (1 - z)\,cdt + zhdt.$$

En n, la chaleur latente r est devenue $r + \frac{dr}{dt}\,dt$, et l'on a pour la quantité de chaleur empruntée extérieurement :

$$(\beta) \qquad dy\left[r + \frac{dr}{dt}\,dt\right].$$

Supposons maintenant que pour arriver au point n', on suive le contour $mm'n$, et soient :

dy' le poids de vapeur formée en allant de m en m',

dx' le poids de vapeur condensée de m' en n',

La chaleur absorbée de m' en m est

$$(\gamma) \qquad rdy',$$

et comme en m' la quantité de vapeur est devenue $z + dy'$, on aura rdx' en changeant z en $z + dy'$ dans le second membre de l'équation (α), d'où

$$(\delta) \qquad rdx' = c(1 - z - dy') + h[z + dy']dt.$$

La quantité de vapeur formée étant nécessairement la même en suivant les deux contours, on a :

$$(\gamma) \qquad dx - dy = dx' - dy'.$$

Enfin des équations (α), (δ) et (γ) on tire :

$$(\varepsilon) \qquad r(dx - dx') = r[dy - dy'] = dy' \,.\, dt[c - h],$$

et la différence des expressions (α) et (γ), égale à

$$dy'dt\left[c - h + \frac{dr}{dt}\right],$$

en négligeant les termes du second ordre, étant proportionnelle au travail produit, estimé à $(1 - \varepsilon)\,\frac{dp}{dt}\,dvdt$, il vient en remarquant que l'on peut supposer $\rho dv = dy'$:

$$(32) \qquad \frac{dr}{dt} + c - h = \frac{1}{A}\,\frac{(1 - \varepsilon)}{\rho}\,\frac{dp}{dt}.$$

Si l'on élimine $\frac{dp}{dt}$ entre les équations (25) et (32), on trouve :

$$(33) \qquad \frac{\alpha r}{1 + \alpha t} = \frac{dr}{dt} + c - h.$$

Pour la vapeur d'eau nous avons vu que

$$606{,}5 + 0{,}305t = r + \int_0^t c\,dt,$$

d'où

$$\frac{dr}{dt} + c = 0{,}305,$$

et l'on a par conséquent :

$$h = 0{,}305 + \frac{0{,}00367}{1 + 0{,}00367t}\left[606{,}5 - 0{,}695t - 0{,}00002t^2 - 0{,}0000003t^2\right]$$

ou

$$h = 0{,}305 - \frac{606{,}5 - 0{,}695t - 0{,}00002t^2 - 0{,}0000003t^2}{273 + t},$$

ce qui donne pour

$t = 0$	$h = -1{,}916$
$t = 50°$	$h = -1{,}465$
$t = 100°$	$h = -1{,}133$
$t = 150$	$h = -0{,}879$
$t = 200$	$h = -0{,}676$

§ 4. *De l'influence de la pression sur le point de fusion des corps.*

28. Principe fondamental.

Concevons une masse d'eau à zéro renfermée dans une capacité invariable, et supposons qu'à l'aide d'une source de froid on parvienne à en abaisser la température. Une certaine quantité de glace tendra à se former, ou les particules d'eau tendront à s'éloigner les unes des autres, puisque l'eau augmente de volume en se congelant; mais comme le volume total reste constant, la masse ne cessera pas d'être complétement fluide. Les forces répulsives moléculaires développées ne peuvent donc avoir pour effet que d'augmenter la

pression. Il suit de là qu'un abaissement de température accompagné d'une augmentation suffisante de la pression ne produit pas de congélation. On démontrerait de la même manière que l'inverse doit avoir lieu pour les liquides qui se contractent en se solidifiant.

On est ainsi conduit à admettre en principe que, selon qu'un liquide augmente ou diminue de volume en passant à l'état solide, tout accroissement de pression abaisse ou élève le point de congélation.

29. Expériences de MM. W. Thomson et Bunsen.

M. W. Thomson au moyen de l'appareil d'OErsted pour la compression des liquides, et en employant un thermomètre à éther, a trouvé que sous les pressions de 8,1 atmosphères et 16,8 atmosphères, le point de fusion de la glace correspond aux chiffres — 0°,059 et — 0°,129, ou qu'il a baissé de ces deux quantités prises en valeur absolue.

M. Bunsen a opéré au contraire sur deux substances qui se contractent en se solidifiant, le sperma ceti et la paraffine. A cet effet, il s'est servi d'un tube renfermant de l'air et du mercure et la substance à l'état liquide au niveau du mercure. En chauffant l'appareil, il a pu par la dilatation du mercure et l'échauffement de l'air réduit à un moindre volume, faire varier la pression. Il a ainsi obtenu les résultats suivants, qui justifient le principe énoncé :

	Pression en atmosphères.	Température de solidification.
1° Pour le sperma ceti. . . .	1	47°,3
	29	48°,5
	96	49°,7
	141	50°,5
	156	50°,9
2° Pour la paraffine.	1	46°,3
	85	48°,9
	100	49°,9

30. Du point de fusion de la glace.

Concevons une masse composée d'eau et de glace à la température $-t°$, sous la pression p, et occupant le volume u, et soient :

ρ sa densité;

ε le rapport de la densité de la glace à celle de l'eau;

r la chaleur latente de fusion de la glace.

cdt la quantité de chaleur perdue par l'unité de poids d'eau, lorsque la température s'abaissant de $dt°$, la pression augmente de dp, hdt la quantité de chaleur perdue dans les mêmes circonstances par l'unité de poids de glace.

Soit m (*fig.* 25), le point ayant pour coordonnées $ma = p$ et $oa = u$; si l'on augmente la pression et si la masse ne reçoit pas de chaleur extérieure, il se fondra une certaine quantité de glace et la température baissera. Supposons que le point n corresponde à la température $-(t + dt)$, son ordonnée étant par suite $nb = p + \frac{dp}{dt}dt$. Pour augmenter le volume de bb' de manière à ce que la température et la pression restent constantes, il faudra qu'il se forme une certaine quantité de glace et que le chaleur dégagée résultante soit absorbée, par exemple, par une source de froid extérieure à la température $-(t + dt)$. En diminuant la pression suivant $n'm'$ sans aucun emprunt de chaleur, la température augmentera, et supposons qu'en m' elle ait repris sa valeur primitive $-t°$. On reviendra enfin au point m, suivant une parallèle à l'axe des abscisses en donnant à la masse la quantité de chaleur ρdvr, dv étant le volume de glace fondue pendant la dernière partie de l'opération.

On voit ainsi que l'on a produit un travail représenté par l'aire $mnn'm'$, et que cette question offre la plus grande analogie avec celle des vapeurs saturées. La

formule (25) du n° 25 et la formule (33) du n° 27 peuvent donc ici recevoir leur application, en changeant toutefois dans cette dernière les signes c et h qui ont dans les deux cas des significations inverses l'une de l'autre. Il vient ainsi :

$$(25') \qquad \frac{dp}{dt} = \frac{\rho r \alpha}{(1-\varepsilon)\,A\,(1+\alpha t)} = \frac{\rho r \mu}{1-\varepsilon},$$

$$(33') \qquad \frac{dr}{dt} = -(c-h) + \frac{r\alpha}{\alpha + t}.$$

On peut, sans erreur sensible, regarder c et h comme égaux respectivement aux chaleurs spécifiques de l'eau et de la glace, et r comme ayant dans le second membre de l'équation (33') la valeur constante 79,25. Si donc on prend avec M. Person, 0,48 pour la chaleur spécifique de la glace, on trouve :

$$\frac{dr}{dt} = 0{,}81$$

pour la *diminution de la chaleur latente de la glace correspondant à un abaissement de* 1 *degré du point de fusion.*

Supposons maintenant que l'on ait de la glace à 0 sous la pression atmosphérique, et que l'on veuille déterminer l'accroissement qu'il faut faire subir à la pression pour abaisser d'une petite quantité la température du point de fusion; on a $r = 79{,}25$, μ peut être considéré comme constant et égal à 1,52; d'autre part, on sait que pour produire un décimètre cube d'eau, il faut fondre $1^k{,}087$ de glace, d'où il suit que $\frac{1-\varepsilon}{\rho} = 0{,}087$; et la formule (25') donne :

$$dt = 0{,}0000725\,dp,$$

$$t = 0{,}0000725\,p,$$

et enfin en appelant n le nombre d'atmosphères contenues dans p,

$$t = 0{,}0075n.$$

Ainsi un accroissement de pression d'une atmosphère abaisse le point de fusion de $0°{,}0075$; il faudrait, par conséquent, plus de 100 atmosphères pour abaisser le point de fusion de la glace de 1 degré.

Si l'on suppose $n = 8{,}1$ et $n = 16{,}8$, on trouve $t = 0{,}061$ et $t = 0{,}126$, chiffres qui diffèrent très-peu de ceux $t = 0{,}059$ et $t = 0{,}129$ déduits de l'expérience par M. W. Thomson, concordance qui vient encore à l'appui de la théorie mécanique de la chaleur.

§ 5. *Essai sur la théorie des vapeurs.*

31. Constitution physique des vapeurs.

Nous avons vu plus haut que les vapeurs, lorsqu'elles se trouvent à un état peu éloigné du point de saturation, ne se conforment pas exactement aux lois expérimentales qui régissent les gaz permanents.

Ne serait-il pas possible de faire cadrer les mêmes lois avec les résultats de l'expérience au moyen d'une hypothèse sur la constitution physique des vapeurs, dont l'exactitude pourrait être contrôlée par des faits ultérieurs? Tel est le problème que je me suis proposé.

De même que les liquides peuvent tenir en suspension leur propre solide, ou des solides hétérogènes, on peut admettre que les vapeurs, dans certaines conditions de pression et de température, peuvent tenir en suspension des globules de leur liquide, auxquels on pourrait supposer par exemple une constitution analogue à celle des bulles de savon.

En partant de ce principe, une vapeur ne serait autre chose qu'une vapeur théorique, ou soumise aux mêmes lois que les gaz permanents, tenant en suspension une certaine proportion de liquide dépendant de

la nature du liquide, de la température et de la pression.

Pour être plus clair, supposons qu'il s'agisse de la vapeur d'eau. L'expérience montre que, dans le voisinage du point de saturation, sa densité par rapport à celle de l'air est supérieure à la densité théorique, et que son coefficient de dilatation va en diminuant à mesure que l'on élève la température. Ces deux faits se trouvent justifiés par notre hypothèse; d'une part, une fraction, quelque faible qu'elle soit, d'un liquide, mélangée à un fluide gazeux beaucoup moins dense, d'où une densité moyenne supérieure à celle de ce dernier; d'autre part, si l'on élève la température, une partie de l'eau maintenue en suspension se volatilise, occupe un volume beaucoup plus grand ; d'où une dilatation totale supérieure à celle que prendrait le fluide aériforme s'il était pur.

La chaleur spécifique de la vapeur d'eau paraît augmenter notablement à mesure que l'on approche du point de saturation. Et en effet, si l'on admet que la vapeur renferme de l'eau en suspension, cette eau se vaporisant partiellement par suite d'une augmentation de température, absorbe une certaine quantité de chaleur qui s'ajoute à la chaleur spécifique de la vapeur supposée à l'état théorique.

M. Regnault a trouvé 0,475 pour la chaleur spécifique de la vapeur d'eau à une température supérieure de beaucoup à celle qui correspond à la saturation tandis que précédemment MM. Laroche et Bérard avaient obtenu 0,800. Or le procédé d'expérimentation de ces derniers physiciens laisse entrevoir qu'ils ont nécessairement opéré sur de la vapeur humide ; et, d'après nos idées, la volatilisation d'une fraction d'eau en suspension équivalente à 0,0005 pour une augmentation de 1 degré de température, suffirait pour expli-

quer la différence entre les deux chiffres précédents.

La loi de la détente de la vapeur dans nos machines motrices n'étant pas connue, on y substitue la loi de Mariotte, et en partant de là les constructeurs admettent un coefficient de rendement ayant pour limites 0,30 et 0,50; la petitesse de ce coefficient montre évidemment que le travail théorique calculé est beaucoup trop fort, si l'on considère que ces machines ne comportent que de faibles pertes de force vive, et que leur construction très-soignée, jointe aux modes de fabrication employés, réduit à peu de chose l'influence des frottements.

L'application de la loi de Mariotte supposerait non-seulement que la vapeur se comporte comme un gaz, mais encore que les parois du cylindre sont capables de restituer à ce fluide la quantité de chaleur qu'elle perd en se détendant, ce qui est peu admissible en raison de la faible conductibilité de la vapeur et du temps notable comparé à la rapidité du mouvement du piston que doit mettre la chaleur pour se propager dans cette paroi, quand même elle serait munie d'une enveloppe de vapeur.

En négligeant la quantité de chaleur transmise par le cylindre à la vapeur qui se détend, en admettant l'équivalence entre le travail et la chaleur et la chaleur spécifique de la vapeur d'eau égale à 0,475, je suis arrivé à conclure que la pression doit constamment rester au-dessous de son maximum. Mais en considérant la vapeur comme un gaz permanent, et en la supposant à 5 atmosphères, on arriverait à une température de — 38 degrés, en portant le volume à vingt fois sa valeur primitive, et la pression se trouvant réduite à 1/40 d'atmosphère. Or l'absurdité de ce résultat est évidente si l'on examine avec quelque attention les

tables qui donnent les tensions maximum et les températures correspondantes. Il faudrait de plus que la courbe de la détente ayant pour abscisse la température et pour ordonnée la pression, vînt à rencontrer plus près de l'origine des coordonnées, la courbe des tensions maxima, puisque autrement, pour le point d'intersection, la vapeur ne se comporterait pas comme nous l'avons admis plus haut. Il faut donc que relativement aux gaz permanents, la pression décroisse plus rapidement avec la température, aux environs du point de saturation; ce qui s'explique en remarquant que par suite de l'abaissement de température, une fraction de la vapeur se transforme en eau qui reste en suspension, en dégageant sa chaleur latente.

Les anomalies que présentent les vapeurs, relativement à la loi de Mariotte, peuvent s'expliquer de la même manière, comme nous le verrons plus loin.

Nous allons maintenant discuter les résultats auxquels conduit notre hypothèse, d'après laquelle la vapeur à saturation serait un fluide obéissant aux lois des gaz permanents, et tenant en suspension son maximum de liquide.

32. Détermination de la proportion de liquide en suspension dans une vapeur au moyen des densités.

Soient :

x le poids de vapeur à l'état de gaz pur sous la pression p, renfermé dans 1 kil. de vapeur dans le voisinage du point de saturation;

y le poids d'eau renfermé dans ce kilogramme;

Δ la densité observée de la vapeur rapportée à celle ϖ de l'air dans les mêmes conditions de pression et de température;

δ la densité théorique de la vapeur également rapportée à celle de l'air;

ρ la densité du liquide.

On a :

$$x + y = 1,$$

$$\frac{x}{\delta\varpi} + \frac{y}{\rho} = \frac{1}{\Delta\varpi};$$

or la fraction y est déjà très-petite, et par suite $\frac{y}{\rho}$ devient négligeable par rapport à $\frac{1}{\Delta\varpi}$, en raison de la petitesse de $\Delta\varpi$ par rapport à ρ; on peut donc prendre tout simplement

$$x = \frac{\delta}{\Delta},$$

et supposer que la partie gazeuse de la vapeur occupe le même volume que la masse totale. Enfin il vient

$$y = 1 - \frac{\delta}{\Delta},$$

et le tout se réduit à calculer δ et Δ.

33. Expériences de M. Cahours.

Les seules expériencesqui puissent nous servir pour trouver l'influence d'un accroissement de température sur la fraction d'eau en suspension dans la vapeur sont dues à M. Cahours, qui a étudié sous la pression d'une atmosphère les vapeurs d'eau, de perchlorure de phosphore et d'acide acétique.

Quoique les densités Δ décroissent très-rapidement lorsque la température augmente à partir du point de saturation, j'ai cherché à représenter par une formule, la loi que suit Δ et à prendre pour δ la valeur qui correspond à un accroissement infini de température. A la vérité, comme nous l'avons reconnu plus haut (26), les densités obtenues par M. Cahours dans le voisinage de 100 degrés sont trop fortes; mais nous les considérerons comme exactes jusqu'au moment où des expériences plus précises et faites dans un but spécial permettront de les rectifier.

Dans les tableaux suivants qui représentent les résultats des expériences de M. Cahours, nous avons mis en regard des densités leurs logarithmes et les excès de température sur le point d'ébullition, chiffres qui nous seront utiles par la suite.

Soient T la température d'ébullition,

t la température à laquelle on a porté la vapeur.

Vapeur d'eau T= 100°

t	Δ	Log Δ	$t-T$
107	0,645	— 0,1904403	7
110	0,640	— 0,1938200	10
120	0,625	— 0,2041200	20
130	0,621	— 0,2069034	30
150	0,6198	— 0,2077484	50
200	0,6192	— 0,2081691	100
250	0,6182	— 0,2088710	150

Acide acétique T= 120°

t	Δ	Log. Δ	$t-T$
124	3,194	0,5043349	4
130	3,105	0,4920616	10
140	2,907	0,4634450	20
152	2,727	0,4356851	32
162	2,583	0,4121244	42
170	2,480	0,3944517	50
180	2,438	0,3870337	60
190	2,378	0,3762119	70
200	2,248	0,3517963	80
219	2,132	0,3287872	99
231	2,101	0,3222193	111
240	2,090	0,3201463	120
252	2,090	0,3201463	132
272	2,088	»	152
295	2,083	»	175
308	2,085	»	188
321	2,083	»	201
327	2,085	»	207
336	1,082	»	216

Nous n'avons pas tenu compte des dernières valeurs de ce tableau, en raison de ce que la différence de l'une

à la suivante étant très-petite nous paraît comparable à la grandeur des erreurs de l'expérience.

Perchlorure de phosphore T= 148°

t	Δ	Log. Δ	$t=T$
182	5,078	0,7056927	34
190	4,987	0,6978394	42
200	4,851	0,6858313	52
210	3,391	0,6010817	102
288	3.670	0,5646661	140
300	3,654	0,5627685	140
336	3,656	0,5630062	188

En examinant les tableaux ci-dessus à un point de vue général, on reconnaît que la densité des vapeurs va en diminuant très-rapidement à mesure que l'on augmente la température à partir du point de saturation, et devient à peu près constante dès que la température est suffisamment éloignée de celle qui correspond au maximum de tension.

On observe cependant quelques anomalies dans les derniers chiffres du tableau relatif à l'acide acétique, mais surtout dans les résultats obtenus pour le perchlorure de phosphore. Ces anomalies, peu importantes numériquement parlant, doivent être attribuées à des erreurs d'expérience, si l'on considère que les phases d'un phénomène naturel ont un caractère essentiel de continuité, lorsque les éléments dont il dépend n'éprouvent pas dans l'intervalle fini qui en limite l'étude, de modifications brusques.

Si l'on représente par θ l'excès de la température t d'une vapeur dont la pression reste constante, sur la température T correspondant à la saturation, et si l'on construit une courbe ayant θ pour abscisse et Δ pour ordonnée, l'ordonnée à l'origine sera la densité de la vapeur saturée ; les ordonnées iront en diminuant très-

rapidement à mesure que θ augmentera à partir de zéro, et deviendront sensiblement constantes pour une valeur suffisamment grande de cette variable, en d'autres termes, la courbe aura une asymptote parallèle à l'axe des abscisses, et dont l'ordonnée sera la densité *théorique* de la vapeur.

Le moyen le plus simple de représenter une courbe de cette nature, consiste à considérer δ comme la somme d'exponentielles linéaires en θ et de poser :

$$\Delta = \delta + b\beta^{\theta} + c\gamma^{\theta} + \text{etc.}$$

β, γ, etc. étant des nombres inférieurs à l'unité et a, b, c des coefficients numériques, sera la densité théorique ou la valeur de Δ pour $\theta = \infty$, et la densité de la vapeur à saturation correspondant à $\theta = 0$ sera $\delta + b + c +$

Pour la vapeur nous avons reconnu que l'hypothèse de deux exponentielles conduit à des coefficients imaginaires, et c'est pourquoi nous avons cru devoir nous contenter de la formule simple,

$$(1) \qquad \Delta = \delta + b\beta^{\theta}.$$

Nous nous bornerons à appliquer cette formule aux vapeurs d'eau et d'acide acétique, le perchlorure de phosphore présentant trop d'anomalies ou d'erreurs d'expériences pour que nous puissions interpoler avec quelque chance d'exactitude.

34. Application à la vapeur d'eau.

Si nous posons :

$$10000\Delta - 6100 = y \quad \text{et} \quad 10000\delta - 6100 = a,$$

on a :

$$(2) \qquad y = a + b\beta^{\theta},$$

et le tableau

NUMÉROS d'expériences.	y	θ
1	350	7
2	300	10
3	150	20
4	110	30
5	98	50
6	92	100
7	82	150

Si l'on construit à une grande échelle la courbe représentée par l'équation (2), on reconnaît que les points n^{os} 1, 2, 3 sont en ligne droite, que l'inclinaison est plus forte pour la corde (6, 7) que pour la précédente, et qu'elle est trop considérable pour que, au point de vue graphique, on puisse reconnaître *à priori* qu'il doit y avoir une asymptote parallèle à l'axe des abcisses.

Pour qu'un trait continu passant par les points 1, 2, 3, 4 puisse être substitué d'une manière satisfaisante à l'ensemble des données de l'expérience, avec la condition d'une asymptote parallèle à l'axe des abscisses, il faut qu'il passe un peu au-dessous des points n^{os} 2, 4, 5 et un peu au-dessus du point n° 6. Mais avant de faire subir des corrections aux ordonnées de ces derniers points, nous allons voir à quels résultats elles conduisent en leur conservant leur valeur numérique.

Soient y_0, y_1, y_2 trois valeurs de y correspondant aux valeurs consécutives θ_0, $\theta_0 + \varphi$, $\theta + 2\varphi$, φ étant une constante, $\Delta y_1 = y_1 - y_0$, $\Delta y_2 = y_2 - y_1$, on a :

$$y_0 = a + b\beta^{\theta_0}$$
$$y_1 = a + b\beta^{\theta_0+\varphi}$$
$$y_2 = a + b\beta^{\theta_0+2\varphi}$$
$$\Delta y_1 = b\beta^{\theta_0}[\beta^{\varphi} - 1]$$
$$\Delta y_2 = b\beta^{\theta_0+\varphi}[\beta^{\varphi} - 1]$$

d'où

$$\beta^{\varphi} = \frac{\Delta y_2}{\Delta y_1},$$

$$(3) \qquad b = \frac{\Delta y_1}{\beta^{\theta_0}(\beta^{\varphi} - 1)},$$

$$a = y_0 - b\beta^{\theta_0}.$$

En faisant passer la courbe (2) par les points n^{os} 2, 3, 4, on a :

$\theta_0 = 10$ $\quad y_0 = 300$

$\varphi = 10$ $\quad y_1 = 150$ $\quad \Delta y_0 = -150$

$\quad\quad\quad y_2 = 100$ $\quad \Delta y_1 = -40$

d'où

$\beta = 0{,}8769$, $\quad b = 304{,}09$, $\quad a = 95{,}45$, $\quad 10^4\delta = 6195{,}45$;

mais pour $\theta = 7$, les coefficients substitués dans l'équation (1) donnent la valeur bien trop forte $\Delta = 649{,}954$ au lieu de 645.

La courbe passant par les points 3, 4 et le point n° 4 *bis* correspondant à $\theta_0 = 40°$, et dont l'ordonnée résultant du tracé graphique est 100, est déterminée par les éléments

$\theta_0 = 20$ $\quad y_0 = 150$

$\varphi = 10$ $\quad y_1 = 110$ $\quad \Delta y_0 = -40$

$\quad\quad\quad y_2 = 100$ $\quad \Delta y_1 = -10$

d'où

$\beta = 0{,}87055$, $\quad b = 853{,}14$, $\quad a = 96{,}6$, $\quad 10000\delta = 6196{,}67$,

Ce qui donne en appelant D la différence entre la valeur de 10000 Δ déduite de la formule et celle de l'expérience pour

$\theta = 7$ $\quad 10000 = 6421{,}81$ $\quad D = -28{,}19$

$\theta = 10$ $\quad 10000 = 6399{,}85$ $\quad D = -0{,}15$

Enfin pour la courbe passant par les points n^{os} 4, 4 *bis*, 5, on a :

$$\theta_0 = 30 \qquad y_0 = 110 \qquad \Delta y_0 = -100$$
$$\varphi = 10 \qquad y_1 = 100 \qquad \Delta y_1 = -\ 20$$
$$y_2 = 98$$

d'où

$$\beta = 0{,}8513, \quad b = 156{,}25, \quad a = 95{,}5, \quad 10000\delta = 6195{,}5.$$

Les deux derniers points devant être considérés comme défectueux, ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, nous avons dû les laisser de côté.

On voit que les trois valeurs obtenues pour β, a, δ sont assez peu différentes les unes des autres, ce qui semble justifier l'emploi de notre formule d'interpolation ; mais il n'en est pas de même des coefficients b, a.

Nous pensons que la courbe qui représente le mieux la loi cherchée est celle qui passe par les points n^{os} 1, 4, 5, et dont les coefficients seront déterminés par les équations

$$350 = a + b\beta^7$$
$$100 = a + b\beta^{30}$$
$$98 = a + b\beta^{50}$$

d'où

$$252\beta^{23} - 240\beta^{43} = 12, \quad b\beta^7 = \frac{240}{1 - \alpha^{23}}.$$

Pour résoudre l'équation en β, nous considérons comme approchée la valeur $\beta_0 = 0{,}8737$ déduite des résultats obtenus plus haut, et nous poserons $\beta = \beta_0 + z$, z étant une fraction assez petite pour que l'on puisse négliger les puissances supérieures à la première.

On a :

$$\beta^{43} = \beta_0^{43} + 43 \cdot \beta_0^{42} \cdot z,$$
$$\beta^{23} = \beta_0^{23} + 23 \cdot \beta_0^{23} \cdot z;$$

d'où par une substitution

$$z = \frac{12 - \beta_0^{23}[252 - 240\,\beta_0^{20}]}{(5796 - 10320)\,\beta_0^{22}} = 0{,}00547,$$

et

$$\beta = 0{,}87917$$
$$b\beta^7 = \frac{240}{1 - \beta^{23}} = 253{,}050$$
$$b = 623{,}4$$
$$a = 350 - b\beta^7 = 96{,}050$$
$$10^4\delta = 6196{,}95 = 6197$$

La formule obtenue

$$10^4\Delta = 6197 + 623{,}4\,[0{,}8791]^\theta$$

donne pour

$$\theta = 10 \qquad \Delta = 6370 \qquad D = -30$$
$$\theta = 20 \qquad \Delta = 6244 \qquad D = -\ 6$$
$$\theta = 100 \qquad \Delta = 6197 \qquad D = +\ 5$$
$$\theta = 150 \qquad \Delta = 6197 \qquad D = +15$$

Mais la densité-limite δ nous paraissant un peu forte, nous avons cru devoir recommencer le calcul en réduisant de trois unités l'ordonnée du point n° 5, réduction basée sur le tracé graphique.

Nous avons donc

$$350 = a + b\beta^7$$
$$110 = a + b\beta^{30}$$
$$95 = a + b\beta^{50}$$

d'où

$$z = \frac{15 - \beta_0^{23}[255 - 240 \cdot \beta_0^{20}]}{(5865 - 10320\,\beta_0^{20})\,\alpha_0^{22}} = 0{,}01620$$
$$\beta = 0{,}8949$$
$$b\beta^7 = \frac{240}{1 - \beta^{23}} = 260{,}24$$
$$b = 565{,}32$$
$$a = 350 - b\beta^7 = 90 - 10^4\delta = 6190$$

et enfin

$$(4) \qquad 10^4\Delta = 6190 + 565{,}32\,[0{,}89490]^\theta$$

d'où l'on déduit le tableau :

θ	Δ	D
7	6450	0
10	6570	= 30
20	6252	+ 2
30	6210	0
50	6195	+ 3
100	6190	− 2
150	6190	− 8

Le chiffre 637 correspondant à $\theta = 10$, coïncide bien avec celui qui résulte du tracé graphique : on voit que, à part l'expérience n° 2, qui *à priori* ne paraissait pas s'accorder avec la loi de continuité, la formule (4) s'accorde très-bien avec l'ensemble des chiffres de M. Cahours et que les autres différences peuvent très-bien rentrer dans les erreurs d'expérience.

Si nous appelons Δ_1 la densité de la vapeur au maximum de tension, il vient :

$$(5) \qquad 1000\,\Delta_1 = 6190 + 565{,}32 = 675{,}5$$

on a de plus :

$$(6) \qquad \begin{cases} \log 565{,}32 = 2{,}7529505 \\ \log 0{,}89490 = \bar{1}{,}9517745 \end{cases}$$

35. Application à l'acide acétique.

En posant $y = 10^3\Delta - 2.100$, on a le tableau suivant :

NUMÉROS d'expériences.	θ	y	NUMÉROS d'expériences.	θ	y
1	4	1094	7	60	338
2	10	1005	8	70	278
3	20	807	9	80	148
4	32	627	10	99	32
5	42	483	11	111	1
6	50	380	12	120	− 10

En construisant les points ayant θ pour abscisse et y pour ordonnée, on trouve qu'ils forment un trait continu, à l'exception toutefois des points 6 et 7 dont les ordonnées sont trop fortes et que nous laisserons de côté.

En déterminant au moyen des formules (3) a, b, β de la courbe $y = a + b\beta^\theta$ assujettie à passer par les points n^{os} 2, 6, 9, on trouve :

$$\beta = 0{,}2736$$
$$a = 171$$
$$b = 1420{,}3$$

et l'on a par suite :

$$(7) \qquad \begin{aligned} 1000\,\Delta &= 1929 + 1420{,}3\,(0{,}98114)^\theta \\ 1000\,\delta &= 1929 \\ 1000\,\Delta &= 3349 \end{aligned}$$

En comparant les résultats fournis par la formule (7) à ceux de l'expérience, on forme le tableau suivant :

θ	1.000 Δ	D	θ	1.000 Δ	D
4	3.246	+ 52	50	2.480	0
10	3.105	0	70	2.306	− 72
20	2.907	0	80	2.241	− 7
31	2.704	− 23	99	2.147	+ 15
42	2.570	− 13	120	2.085	− 15

On pourrait encore, comme nous l'avons fait par la vapeur d'eau, réduire les erreurs commises en modifiant en conséquence les coefficients de la formule (7). Mais il nous suffit de montrer que la formule d'interpolation employée représente avec assez d'exactitude l'ensemble des faits relatifs à l'acide acétique, en dehors des expériences que nous avons considérées comme défectueuses.

36. Variation du coefficient de dilatation d'une vapeur peu éloignée du point de saturation.

Soient ϖ le poids spécifique de la vapeur à la température t, $\alpha = 0{,}00367$ le coefficient de dilatation de l'air, $1^k{,}2932$ le poids spécifique de ce gaz. On a :

$$\varpi = \frac{1{,}2932}{1+\alpha t}\Delta.$$

Le volume de l'unité de poids étant $\frac{1}{\varpi}$, le coefficient de dilatation à $t°$ sera :

$$\frac{d\frac{1}{\varpi}}{\frac{dt}{\varpi}} = -\frac{d}{dt}\log\varpi = -\frac{d}{dt}\log\frac{\Delta}{1+\alpha t} - \frac{1}{\Delta}\frac{d\Delta}{dt}.$$

La densité Δ décroissant quant t augmente $\frac{d\Delta}{dt}$ est négatif, par conséquent le coefficient de dilatation de la vapeur sera supérieur à celui $\frac{\alpha}{1+\alpha t}$ de l'air à $t°$, mais il en approchera d'autant plus que t sera plus grand ou que Δ approchera de sa valeur-limite δ.

Or la formule

$$(1) \qquad \Delta = \delta + b\beta^\theta$$

donne, en désignant par les symboles log. hyp., log., les logarithmes népériens et les logarithmes ordinaires,

$$\frac{d\Delta}{d\theta} = b\beta^\theta \log.\ \text{hyp}.\ \beta = 2{,}302\,59\, b\,.\log.\beta\,.\,\beta^\theta.$$

En désignant par x le coefficient cherché, il vient :

$$(8) \quad x = \frac{\alpha}{1+\alpha t} - \frac{2{,}302\,59\log.\beta.b\beta^\theta}{\delta + b\beta^\theta} = \frac{\alpha}{1+\alpha t} - 2{,}302\,59\log\beta\left(1-\frac{\delta}{\Delta}\right).$$

37. Application à la vapeur d'eau saturée sous la pression d'une atmosphère. Variation de la proportion de liquide en suspeusion.

Désignons par ε la proportion $1-\frac{\delta}{\Delta}$ de liquide en suspension dans la vapeur, par y la différence

$$y = -2{,}302\,59\log\beta\,.\,\varepsilon$$

entre son coefficient de dilatation et celui de l'air, on a le tableau suivant, en prenant les éléments numériques calculé au n° 34 :

t	θ	δ	Δ	$\frac{\delta}{\Delta}$	ε	y	$\frac{\alpha}{1+\alpha t}$	x	$\frac{y}{\frac{\alpha}{1+\alpha t}}$
100	0	0,6190	0,6755	0,91636	0,08364	0,009359	0,002685	0,012044	3,50
104	4		0,6450	0,95969	0,04031	0,004511	0,002656	0,007167	1,69
110	10		0,6370	0,97174	0,02826	0,003162	0,002614	0,005776	1,29
120	20		0,6252	0,99005	0,00995	0,001003	0,002548	0,003551	0,39
130	30		0,6210	0,99678	0,00322	0,000360	0,002485	0,002845	0,14
150	50		0,6195	0,99919	0,00081	0,000091	0,002367	0,002450	0,038

On voit d'après ce tableau combien il est important de tenir compte, dans les questions qui se rattachent à la théorie de la vapeur d'eau, de l'influence considérable qu'exerce la variation de la densité avec la température sur le coefficient de dilatation.

38. Densité de la vapeur sous diverses pressions.

Par extension de principe, on peut admettre que pour une pression quelconque p la densité de la vapeur d'eau peut se représenter par la formule

$$\Delta = \delta + b\alpha^\theta,$$

ou par son équivalente

$$\Delta = \delta + (\Delta_1 - \delta)\alpha^\theta,$$

Δ_1 étant la densité correspondant au maximum de tension.

La densité théorique doit être indépendante de la pression, et par conséquent nous devrons la supposer égale à 0,6190.

Nous avons donné au n° 25 l'expression de Δ_1 en

fonction de T. Mais quant à la détermination de β, elle exigerait des expériences qui n'ont pas été exécutées jusqu'à ce jour.

59. Remarque relative à la chaleur latente d'une vapeur.

Supposons qu'un kilogramme d'eau à zéro soit transformé en vapeur saturée sous la pression p et à la température correspondante T, et soit ε la proportion d'eau en suspension qu'elle renferme. La chaleur totale de la masse égale à $606,6 + 0,305\,T$ se composera de εT augmenté de la quantité de chaleur nécessaire pour transformer en vapeur théorique ou gazeuse le poids $(1-\varepsilon)$. Si nous appelons x cette quantité rapportée à l'unité de poids, on a :

$$(1-\varepsilon)x + \varepsilon T = 606,6 + 0,305\,T,$$

d'où

$$x = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} + \frac{606,6 + 0,305\,T}{1-\varepsilon}.$$

Si l'on remarque que ε est une fraction très-petite par rapport à 606,6, on peut écrire tout simplement :

$$x = 606,6\,(1+\varepsilon) + 0,305\,T.$$

Et en retranchant T de cette expression on trouve pour la chaleur latente de la vapeur théorique :

$$y = 606,6\,(1+\varepsilon) - 0,695\,T.$$

40. Rapport entre les deux volumes du même poids de vapeur maintenue à la même température, lorsqu'on fait varier la pression.

Soient v, le volume occupé par 1 kilogramme de vapeur à la température t sous la pression p, T la température correspondant à la saturation sous la pression p et Δ la densité rapportée à celle de l'air, on a :

$$v = \frac{1}{\Delta \dfrac{1,2932}{1+0,00367t} \times \dfrac{p}{10333}}.$$

d'où

$$(9)\qquad \frac{vP}{1+0,00367t} = \frac{10333}{1,2932}\cdot\frac{1}{\Delta} = \frac{10333}{1,2932} \times \frac{1}{\delta + (\Delta_1 - \delta)\,\alpha^{t-T}}.$$

Pour la plupart des gaz et des vapeurs le premier membre de cette formule va en diminuant quand p augmente ; l'hydrogène paraît seul former une exception à cette règle.

41. De la détente de la vapeur dans une machine.

Nous avons admis que la vapeur, en se détendant dans les cylindres de machines à vapeur, doit être considérée comme n'éprouvant aucune perte ou gain de chaleur de la part des corps environnants.

Partant de ce principe, soient t la température d'une masse de vapeur correspondant à un kilogramme, p la pression de cette vapeur, T la température de la vapeur dont le maximum de pression serait mesuré par p, y la proportion d'eau vésiculaire ou globuliforme renfermée dans la masse de vapeur, c la chaleur spécifique théorique de la vapeur supposée constante (17), r la chaleur latente de la vapeur à $t°$.

Si la température augmente de dt, l'accroissement de la chaleur sensible de la vapeur théorique sera $c\,(1-y)\,dt$ pour l'eau en suspension $y dt$. Mais la quantité d'eau en suspension $-dy$ se volatilise, et absorbe la quantité de chaleur $dt - r dy$ proportionnelle au travail moléculaire qui a été vaincu ; on a donc :

$$dQ = (1-y)\,c'\,dt + y dt - r dy + \frac{1}{A}\,p dv.$$

On peut sans inconvénient, en raison de la petitesse de y, réduire cette formule à la suivante :

$$dQ = c'\,dt - r dy + \frac{1}{A}\,p dv,$$

dans laquelle on ne conserve le terme $r dy$ qu'en raison de la valeur numérique considérable de r par rapport c'.

Si la vapeur n'éprouve ni gain ni perte de chaleur de la part des corps environnants, il vient :

$$o = c'dt - rdy + pdv;$$

or v est l'inverse de la densité de la vapeur en fonction de t et de T, il en est de même de p et de y, on a donc une équation différentielle en t et T qui permettra de résoudre, du moins approximativement, la question de la détente de la vapeur dans les machines. Si je n'insiste pas davantage sur ce sujet, c'est que j'ai en vue quelques expériences que je compte réaliser bientôt sur la densité des vapeurs surchauffées et qui, je l'espère, me conduisent par l'interpolation à une valeur approchée de y en fonction de t et T, que je n'ai pu obtenir en partant des expériences de M. Cahours, lesquelles sont trop restreintes pour l'objet que je me propose. Je compte d'ailleurs tirer d'expériences spéciales sur une machine d'essai actuellement en construction quelques données sur la question dont je viens de m'occuper.

APPENDICE.

De la pression dans le cylindre d'une machine à vapeur pendant la période d'admission.

En m'occupant d'un projet d'expériences sur les machines à vapeur, j'ai été conduit à reprendre un sujet dont M. le général Poncelet a donné la solution dans la séance de l'Académie des sciences du 13 novembre 1843. Dans cet appendice, je n'ai pour objet que de développer, au point de vue de l'application, le contenu de la note de l'illustre fondateur du cours de mécanique appliquée à la faculté des sciences de Paris.

Appelons :

P_0 la pression dans la chaudière,

π_0 la densité correspondante,

A l'aire du piston ;

Et soient au bout du temps t compté à partir du moment où le piston était à fond de course :

x le chemin parcouru par le piston,

P la pression au débouché de la lumière,

V la vitesse de la vapeur à son entrée dans le cylindre,

v La vitesse en un point quelconque de la conduite de vapeur correspondante à la section ω et à la distance s de la chaudière estimée suivant la ligne continue ou discontinue qui joint les centres de gravité des sections ω,

Q le poids de vapeur dépensé par seconde,

Ω la section des lumières d'admission,

l la longueur totale de la conduite estimée de la même manière que s.

La vapeur en mouvement se comportant, comme l'indique l'expérience, de la même manière qu'un fluide incompressible qui aurait pour densité celle de la vapeur dans la chaudière, au bout du temps dt, la demi-force vive de la masse comprise entre la chaudière et le cylindre s'est augmentée de

$$\frac{1}{2}\frac{Q}{g}V^2dt + \frac{1}{2}d\cdot\int_0^l \frac{\omega\pi_0}{g}v^2ds = \frac{1}{2g}QV^2dt + \frac{1}{2g}\int_0^l \frac{dQv}{dt}dsdt.$$

Dans les machines telles qu'on les construit habituellement, on s'arrange de manière à ce que les lumières soient démasquées et recouvertes très-rapide-

ment : de sorte qu'il est permis de négliger les pertes de force vive résultant de l'étranglement produit à la naissance de l'ouverture des lumières par le tiroir. Quant aux pertes de travail dues aux frottements dans les conduites, aux changements brusques de mouvement, elles peuvent être représentées par une expression de la forme $\frac{Q^2}{2g}.V^2.\frac{\Omega^2}{K^2}$, K étant une constante que l'on déterminera soit par une expérience directe, soit approximativement par un calcul basé sur des lois connues et d'après le dispositif même de l'appareil.

Le principe des forces vives donne donc

$$\frac{V^2}{2g}\left[1+\frac{\Omega^2}{K^2}\right]+\frac{1}{2gQ}\int_0^l \frac{dQv}{dt}\,ds=\frac{P_0-P}{\pi_0};$$

or on a, en appelant μ un coefficient de dépense,

$$Q=\mu V\Omega\pi_0=v\omega\pi_0,$$

d'où

$$Qv=\frac{\mu^2\Omega^2\pi_0 V^2}{\omega},$$

et en posant

$$2\int_0^l\frac{ds}{\omega}=\frac{1}{h},$$

on trouve :

$$(1)\qquad \frac{V^2}{2g}\left[1+\frac{\Omega^2}{K^2}\right]+\frac{\Omega\mu}{2gh}\frac{dV}{dt}=\frac{P_0-P}{\pi_0}.$$

Lorsque la vapeur pénètre dans le cylindre, elle tourbillonne nécessairement sur une certaine étendue avant de participer au mouvement régulier du piston. Mais comme il est impossible de soumettre au calcul de pareils phénomènes, nous nous contenterons d'une approximation, en supposant que la vapeur remplit complétement à chaque instant l'espace compris entre le fond du cylindre et le piston sous la pression P.

Soit e la hauteur du cylindre de base A, équivalent à l'espace nuisible, l'accroissement infiniment petit du poids de la vapeur contenue dans le cylindre au bout du temps dt est

$$Ad(x+e)\pi=\frac{A\pi_0}{P_0}Pd(x+e),$$

en désignant par π la densité correspondant à la pression p, et en admettant comme approximation la loi de Mariotte ou la relation $\pi=\frac{\pi_0 P}{P_0}$. Or cette augmentation de poids est égale au poids de vapeur $\mu V\Omega\pi_0 dt$ débité dans le même temps par la lumière ; il vient donc

$$(2)\qquad \frac{PAd(x+e)}{dt}=\mu P_0 V\Omega,$$

et en éliminant V entre les équations (1) et (2), on trouve

$$\frac{A^2}{\mu^2P_0^2\Omega^2}\left(1+\frac{\Omega^2}{K^2}\right)\left[\frac{d(x+e)P}{dt}\right]^2+\frac{A}{P_0h}\frac{d^2(x+e)P}{dt^2}=2g\frac{(P_0-P)}{\pi_0}$$

Soient $2r$ la course du piston, α l'angle dont la manivelle a tourné depuis le point mort correspondant à l'origine du temps, γ la vitesse angulaire de la manivelle, que l'on peut considérer comme constante. On a, en négligeant l'obliquité de la bielle, comme il est permis de le faire en général,

$$x=r(1-\cos\alpha),$$

et comme $\gamma=\frac{d\alpha}{dt}$, il vient

$$(4)\qquad dt=\frac{d\alpha}{\gamma}=\frac{1}{\gamma}\frac{dx}{\sqrt{2rx-x^2}};$$

par suite

$$(5)\quad \frac{A^2\gamma^2\left(1+\frac{\Omega^2}{K^2}\right)}{\mu^2 P_0^{\,2}\Omega^2}\left[\frac{d(x+e)P}{dx}\right]^2(2rx-x^2)+$$
$$+\frac{A^2\gamma^2}{P_0 h}\left[(2rx-x^2)\frac{P\,d^2(x+e)}{dx^2}+(r-x)\frac{P d(x+e)}{dx}\right]=$$
$$=2g\frac{(P_0-P)}{\pi_0}.$$

La vitesse du piston étant

$$\frac{dx}{dt}=r\gamma\sin\alpha;$$

sa valeur moyenne V_1 s'obtiendra en multipliant cette expression par $d\alpha$ et intégrant entre les limites $\alpha=0$, $\alpha=\varpi$ et divisant par ϖ, ce qui conduit à

$$(6)\qquad r\gamma=\frac{V_1\varpi}{2}.$$

ϖ étant le rapport de la circonférence au diamètre.

Si maintenant nous posons

$$\frac{P_0-P}{P_0}=\zeta$$
$$\frac{x}{2r}=z$$
$$\frac{e}{2r}=\varepsilon$$

$$(7)\qquad M=\frac{\pi_0}{2gP_0}\frac{\left(1+\frac{\Omega^2}{K^2}\right)A^2V_1^{\,2}\varpi^2}{\mu^2\Omega^2}$$
$$N=\frac{\pi_0}{2gP_0}\frac{V^2\varpi^2A^2}{4rh},$$

l'équation (5) deviendra

$$(8)\quad Mz(1-z)\left[\frac{d(z+\varepsilon)(1-\zeta)}{dz}\right]^2+$$
$$+N\left[\begin{array}{l}2(z-z^2)\dfrac{d^2(z+\varepsilon)(1-\zeta)}{dz^2}\\ +(1-2z)\dfrac{d(z+\varepsilon)(1-\zeta)}{dz}\end{array}\right]=\zeta.$$

Le coefficient M sera généralement petit; en effet, le rapport de P_0 à π_0 ne varie avec P_0 lorsque la pression ne dépasse pas, par exemple, 20 atmosphères, qu'entre des limites très-restreintes. Supposons donc en particulier que P_0 soit égal à 5 atmosphères, ou que $P_0=5\times 10.333$; on a $\pi_0=2,57$; soient de plus les relations moyennes $\frac{A}{\Omega}=20$, $V_1=1^m$, et enfin $\mu=0,800$, on trouve que M est environ égal à $\frac{1}{64}\left(1+\frac{\Omega^2}{K^2}\right)$, de sorte que, dans le cas même où K atteindrait la valeur Ω, M ne dépasserait pas $\frac{1}{30}$.

Le coefficient N sera en général plus petit que M; car on a

$$\frac{N}{M}=\frac{\mu^2\Omega^2}{A\left(1+\frac{\Omega^2}{K^2}\right)4rh}.$$

Désignons par ω_1 la valeur moyenne de la section de la conduite, on a $h=\frac{\omega_1}{l}$, par suite

$$\frac{N}{M}=\mu^2\cdot\frac{\Omega}{A}\cdot\frac{\Omega}{\omega_1}\times\frac{1}{1+\frac{\Omega^2}{K^2}}\times\frac{2l}{4r}.$$

Admettons, par exemple, les chiffres précédents et de plus $\Omega=\frac{1}{4}\omega_1$, on trouve

$$\frac{N}{M}=0,064\times\frac{l}{2r}.$$

Dans le cas où $2r$ serait égal à $0^m,50$, pour que N fût égal à M, il faudrait que l fût égal environ à 9 mètres.

Or presque toujours, à moins d'exigences spéciales, les machines sont situées beaucoup plus près de leur générateur.

Quoi qu'il en soit, nous nous bornerons à étudier le cas où N et M sont du même ordre de grandeur, et sont assez petits pour que l'on puisse en négliger le quarré ou le produit. La variable ζ nulle avec N et M est du même ordre de grandeur que ces coefficients, et l'on peut la supprimer dans le premier membre de l'équation (8), ce qui revient finalement à considérer la vapeur comme un fluide incompressible. On trouve ainsi

$$\zeta = Mz(1-z) + N(1-2z). \tag{9}$$

En portant cette valeur dans le premier membre de l'équation (8), on obtiendrait pour ζ une valeur plus approchée. Mais la formule ci-dessus nous paraît bien suffisante dans les applications ordinaires.

Avant d'aller plus loin, nous ferons remarquer que pour $z=0$ la formule (9) donne $\zeta_0 = N$, tandis que *a priori* il paraîtrait que l'on doit avoir $\zeta_0 = 0$, si l'on admet l'avance d'introduction. C'est ce qui devrait avoir effectivement lieu si, arrivé au point mort, le piston était réellement immobile; mais comme il possède une accélération, il la transmet à la colonne fluide et réduit la pression P_0 à $P_0(1-N)$.

Le maximum de ζ correspond à

$$z = \frac{M}{2(M+N)},$$

et a pour valeur

$$\zeta' = \frac{1}{2(M+N)}\left[M^2 + 2N^2 - \frac{M^3}{2(M+N)}\right]. \tag{10}$$

Il est facile de s'assurer que ζ' sera d'autant plus petit que N sera lui-même plus petit; de sorte qu'il sera avantageux de réduire la longueur des conduites non-seulement sous le rapport des frottements, mais encore au point de vue de l'inertie de la colonne en mouvement.

Dans le cas où N est assez petit pour être négligé, on a

$$\zeta' = \frac{M}{4},$$

et dans le cas particulier considéré plus haut, on aurait

$$\zeta' = \frac{1}{120};$$

on a donc

$$P = P_0[1 - Mz(1-z) - N(1-2z)]. \tag{11}$$

Si l'on représente par n le chiffre de la détente, les limites de z sont $z=o$ et $z=\frac{1}{n+1}$; on a donc pour le travail dû à la pleine pression

$$2Ar\int_0^{\frac{1}{n+1}} P\,dz = \frac{2AP_0r}{n+1}\left[1 - \frac{M}{(N+1)}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3(n+1)}\right) - N\left(1 - \frac{1}{n+1}\right)\right], \tag{12}$$

expression que l'on pourra réduire dans le cas des détentes un peu considérables à

$$\frac{2AP_0r}{n+1}\left[1 - \frac{M}{2(n+1)} - N\right]. \tag{13}$$

On voit encore d'après les formules (12) et (13) combien il est important de réduire, sous le rapport du ren-

dement mécanique, N ou la longueur de la conduite. Si N est négligeable devant $\frac{M}{2(n+1)}$, la perte de travail relative à l'entrée de la vapeur dans le cylindre sera dans le cas particulier cité plus haut $\frac{M}{2(n+1)} = \frac{1}{60(n+1)}$, soit $\frac{1}{300}$ dans l'hypothèse de la détente 4.

REVUE DE GÉOLOGIE

POUR L'ANNÉE 1860

Par MM. DELESSE et LAUGEL,
ingénieurs des mines.

Les travaux de géologie se sont tellement multipliés dans ces dernières années qu'il a paru utile à la Commission des *Annales des mines* de les résumer dans une revue annuelle. C'est ce que nous venons tenter pour l'année 1860 (1).

(1) Dans le but de simplifier les notes, les ouvrages périodiques le plus souvent cités sont indiqués par des abréviations conformes au tableau qu'on va lire. En outre, le numéro de série du volume est mis entre parenthèses ( ); celui du volume lui-même est donné en chiffres romains et le numéro de la page en chiffres ordinaires.

Ann. d. mines. . . . . . = *Annales des mines* rédigées par les ingénieurs des mines. — Paris.

Bull. géol. . . . . . = *Bulletin de la Société géologique de France.* — Paris.

Comp. rend. . . . . . = *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, rédigés par MM. les secrétaires perpétuels. — Paris.

Instit. . . . . . = *L'Institut*, section des sciences mathématiques, physiques et naturelles; dirigé par M. Arnoult. — Paris.

Jahresb. v. Kopp. . . . = *Jahresbericht über die Forschritte des reinen, pharmaceutischen und technischen Chemie, Physik. Mineralogie und Geologie*, von Hermann Kopp und Heinrich Will. — Giessen.

N. Jahrb. v. Leonhard. = *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie, und Petrefacten-Kunde*, herausgegeben von K. C. von Leonhard und H. G. Bronn.

Zeit. d. d. geol. Ges. . . = *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft.* — Berlin.

Berg. hütten. Zeit. . . . = *Berg-und hüttenmannische Zeitung mit besonderer Berücksichtigung der Mineralogie und Geologie*; redaction K. R. Bornemann und Bruno Kerl. — Freiberg.

J. K. K. Reichanst. . . = *Jahrbuch der K. K. geologischen Reichanstalt.* — Wien.

Geolog. Society. . . . . = *The Quarterly Journal of the geological Society.* — London.

Americ. J. . . . . . = *The American Journal of science and arts*, conducted by Silliman, Silliman Junior and Dana. — Newhaven.

Philosophical Magazine = *The London, Edinburg hand Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, conducted by Brewster, Taylor, Kane and Francis. — London.

Nous avons cherché à donner un aperçu des principales recherches relatives à la géologie, de manière à tenir le lecteur au courant de la science. Les écrits qui sont déjà dans les *Annales des mines* ont été passés sous silence; quant à ceux qui se trouvent dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, et en général dans les ouvrages français habituellement entre les mains des géologues, ils ont seulement été mentionnés pour mémoire ou bien extraits d'une manière très-sommaire. Nous avons, au contraire, appelé spécialement l'attention sur les ouvrages étrangers, notamment sur ceux qui ont été publiés en anglais ou en allemand; car ils sont très-nombreux et cependant peu connus en France.

Division adoptée.

L'ordre suivi dans cette revue de géologie est à peu près celui du cours de M. Élie de Beaumont, et elle comprendra quatre parties :

I. PRÉLIMINAIRES;
II. ROCHES;
III. TERRAINS;
IV. DESCRIPTIONS GÉOLOGIQUES.

M. Delesse s'est occupé de la première partie ainsi que de la deuxième, qui comprend les roches; M. Laugel, de la troisième ou des terrains; quant à la quatrième partie, elle a été traitée en commun.

I. PRÉLIMINAIRES.

Ouvrages de géologie.

Divers ouvrages rendant compte des travaux de géologie ont été publiés en 1860; ce sont notamment: *Histoire des progrès de la géologie*, par M. A. d'Archiac; t. VIII, formation triasique; *Rapport sur les progrès de la géologie en France*, par M. G. Cotteau; *Neues Jahrbuch* de MM. de Leonhard et Bronn; *Jahresbericht* de MM. Hermann Kopp et Heinrich Will. Ce dernier ouvrage résume d'une manière très-complète tout ce qui concerne la composition chimique des minéraux et des roches.

Parmi les ouvrages généraux de géologie, il y a lieu de citer une deuxième édition de l'important traité de M. C. F. Naumann qui est intitulé *Lehrbuch der Geognosie;* les éléments de géologie (*Grundriss der Geologie*) de M. C. Vogt, qui sont en grande partie le résumé succinct des leçons de M. Élie de Beaumont; un traité très-complet de M. Bernhard von Cotta sur les gîtes métallifères; un manuel de lithologie de M. R. Blum.

Exécution des cartes agronomiques.

M. William K. Sullivan (1), à la suite d'un travail sur la composition chimique des terres végétales de l'Irlande, a présenté quelques réflexions critiques sur l'exécution des cartes agronomiques. Voici de quelle manière il les formule :

1° Bien qu'il soit possible de déterminer très-exactement les éléments d'un sol, nous n'avons pas toujours le moyen de connaître l'état sous lequel ils y existent et surtout celui sous lequel ils exercent le plus d'influence sur la végétation.

2° Ce n'est pas en déterminant les éléments d'un très-grand nombre de sols que l'on peut avoir l'espoir d'arriver à des résultats pratiques, mais bien par des recherches faites avec soin sur un petit nombre de sols, recherches ayant pour but de reconnaître sous quel état ces éléments existent et quelles sont les circonstances qui modifient leurs propriétés.

3° Lors même qu'on connaît les conditions desquelles dépend la fertilité des sols, on ne saurait tirer aucune conclusion relativement à cette fertilité en comparant leur composition chimique, leur pouvoir absorbant, leurs propriétés physiques. M. W. K. Sullivan ajoute même qu'il considère l'analyse commerciale des sols comme une erreur.

4° L'étude géologique détaillée des dépôts superficiels d'une contrée procurera au contraire un grand avantage à l'agriculture et doit être considérée comme la base la plus sûre pour arriver à la découverte des relations encore inconnues qui existent entre le sol et la végétation.

Carte agronomique de l'arrondissement de Toul.

Une carte agronomique de l'arrondissement de Toul a été publiée par M. E. Jacquot (2), qui a cherché à lui faire exprimer les trois choses les plus essentielles à l'agriculture : le sol, le sous-sol et les cultures. Le sol est représenté par des teintes qui varient avec sa nature. Des hachures horizontales de deux couleurs différentes indiquent si le sous-sol est perméable ou imperméable. Quant aux cultures, elles sont figurées dans leur ensemble par des systèmes de hachures verticales. Dans cette

(1) *The Atlantis or register of literature and science of the catholic university of Ireland.* Janvier 1860, n° V, 181.

(2) *Essai de statistique agronomique de l'arrondissement de Toul*, avec une carte agronomique; 1859.

carte de l'arrondissement de Toul, huit divisions principales sont établies dans le sol, qui peut être : 1° siliceux, 2° argilo-siliceux, 3° argilo-siliceux avec excès de sable et un peu de carbonate de chaux, 4° alumineux, 5° silicéo-argileux, 6° argileux, 7° marneux, 8° calcaire (tuf). Les éboulis des roches calcaires conduisent même à multiplier encore ces subdivisions. M. Jacquot a fait d'ailleurs, sur la composition de ces divers sols, un grand nombre de recherches pour lesquelles nous devons renvoyer à l'ouvrage qui accompagne sa carte agronomique.

Emploi du microscope dans la géologie.

M. H. Clifton Sorby (1) a donné un aperçu de recherches intéressantes qu'il a entreprises et dans lesquelles il a appliqué le microscope à l'étude de la géologie.

Atmosphère. Anémoscope.

M. Henry Hennessy (2) a proposé un instrument qu'il nomme *anémoscope*, qui permettrait de connaître non-seulement la vitesse, mais encore la direction des courants de l'atmosphère. Des courants verticaux existent en effet dans l'atmosphère, et ce sont eux notamment qui produisent le vent qu'on appelle le *bore*, lequel s'observe à la surface des lacs de l'Irlande et qui prend naissance du côté où ils sont bordés par des montagnes à pic. Les observations faites jusqu'à présent par M. Hennessy lui ont montré que le vent souffle rarement parallèlement à la surface de la terre, et que lorsque l'air est en mouvement, il est soumis sans cesse à des ondulations ; de sorte que la direction du courant change alternativement en un même point de la terre et qu'elle éprouve de petites oscillations autour d'une position moyenne. On comprend d'après cela que la force absolue du vent soit toujours un peu plus grande que son intensité horizontale telle qu'on la détermine par l'anémomètre ordinaire. Du reste, les courants obliques et verticaux ne sont pas seulement des phénomènes locaux, limités aux brises de terre ou de la mer, aux tourbillons et aux vents qui prennent naissance dans les montagnes; ils jouent aussi un rôle dans la circulation des vents autour de la terre. Le capitaine Maury fait même intervenir les courants ascendants et descendants pour expliquer le mouvement de l'atmosphère au-dessus des différentes régions de notre globe.

(1) *L'Instit.*, 11 juillet 1860, 229.
(2) *The Atlantis, etc.* Janvier 1860, n° V, 166.

Froid dans les hautes montagnes.

Un mémoire sur les causes du froid dans les hautes montagnes a été publié par M. Ch. Martins (1).

Eau. Formation de la glace.

M. Engelhardt (2) a entrepris quelques expériences sur la formation de la glace. Il a constaté que, par une température de — 11°, l'étang de Niderbronn qui a 1 mètre de profondeur s'était recouvert d'une couche de glace de 0m,25 d'épaisseur, tandis que l'eau qui s'en écoulait était à + 3°. Ce résultat doit être attribué à ce que le maximum de densité de l'eau est à 4°,44 et à ce que la terre qui forme le fond de nos lacs a pendant l'hiver une température supérieure à 0° et à celle de l'air. M. Engelhardt pense, comme Arago, que la formation de la glace au fond de l'eau est due aux obstacles qui se trouvent dans le courant; toutefois ces obstacles ne sont pas simplement des points d'attache pour les cristaux, ils agissent aussi en mélangeant l'eau et en faisant descendre celle de la surface qui est toujours plus froide que celle du fond.

Congélation de l'eau dans des interstices capillaires.

M. H. C. Sorby (3) a déterminé la température à laquelle l'eau se congèle dans les tubes capillaires. Il a constaté que dans ces tubes elle reste liquide bien au dessous de 0°. et qu'elle se solidifie seulement à — 17°. Comme l'eau qui imbibe les roches et qui remplit leurs pores se trouve dans des interstices capillaires, on conçoit que sa congélation ne se produise pas à 0°; partout où le sol est ce qu'on appelle gelé, il a supporté une température bien inférieure.

Effets du froid sur l'eau de la mer.

M. D. Walker (4), naturaliste attaché à l'expédition des mers arctiques, a observé les effets du froid sur l'eau de la mer. D'après le Dr Kane, lorsque le froid est suffisant, il serait possible d'obtenir par la congélation de l'eau de mer une eau assez pure pour la faire servir aux usages domestiques ; mais les observations de M. Walker l'ont au contraire conduit à des résultats différents. Lorsque la température tombe au-dessous de 28°,5 F., l'eau de mer se couvre d'une pellicule mince de glace; au bout de quelque temps elle devient plus épaisse et sa structure est fibreuse comme celle d'un pain de chlorhydrate d'ammoniaque. A mesure que son épaisseur augmente, la glace devient plus compacte; cependant sa partie inférieure reste

(1) *Annales de chimie et de physique* (3e s.), LVIII, 208.
(2) *L'Instit.* 11 juillet 1860, 225.
(3) *Annales de chimie et de physique.—Philosophical Magazine.* 1859 (4e s.), XVIII, 105.
(4) *Philosophical Magazine* (4e s.), XVII, 437.

fibreuse. A sa surface il se forme d'ailleurs des efflorescences salines Quant à la densité de l'eau résultant de la fusion, elle est d'autant moindre que la congélation a eu lieu à une température moins élevée; toutefois de + 28°,5 à — 42°, il n'a pas été possible d'obtenir de l'eau douce, et la plus pure avait encore une densité de 1,005; elle contenait du reste une telle quantité de sel marin qu'elle ne pouvait être employée aux usages domestiques. En faisant fondre et geler de nouveau cette glace, M. Walker n'a obtenu qu'une eau dont la densité n'était pas inférieure à 1,002. Il pense d'après cela que, lorsque de la glace recueillie en mer donne de l'eau douce, c'est une glace lacustre provenant des glaciers des côtes.

Lacs salés. Il existe dans l'Himalaya des lacs salés et M. H. Schlagintweit (1), qui les a visités, pense que l'explication qu'on a donnée de ce phénomène n'est pas exacte. On avait d'abord admis que le soulèvement de la contrée avait produit un drainage général. Mais l'examen des deux grands lacs salés de Rupschu et Pankong a montré à M. H. Schlagintweit que leurs débouchés avaient d'abord une position différente, et que des bancs presque horizontaux de détritus, ainsi que des traces laissées par l'eau, s'observaient autour de leur circonférence. Il pense donc que c'est l'érosion successive des vallées qui est la cause principale de la transformation graduelle des lacs d'eau douce du Tibet en lacs salés. Par suite du progrès de cette érosion, des millions de milles quarrés qui étaient d'abord occupés par les lacs sont maintenant à sec; en outre, il n'existe plus d'équilibre entre l'évaporation des eaux et les dépôts qu'elles opèrent; en sorte que les lacs, dont une partie n'est pas drainée à cause de leur grande profondeur, deviennent de plus en plus salés.

Gulf-Stream. M. A. D. Bache (2), directeur du Coast Survey, a présenté un résumé d'observations intéressantes faites sur le Gulf-Stream par la marine des États-Unis. Ce courant a été étudié non-seulement à la surface, mais encore dans la profondeur. Pour déterminer la température, il fallait des thermomètres enregistreurs et pouvant être corrigés des effets de la pression. On s'est particulièrement servi pour les grandes profondeurs du

(1) *Americ. J.*, XXIX, 1860, 245.
(2) *The American Association*, 1860, 10, IX.

thermomètre métallique de Bréguet, modifié par M. J. Saxton. Les sondes employés pour mesurer les profondeurs sont celles qui ont été décrites par les commandants Maury et S. P. Lee, par les lieutenants Berryman et Brooke, par le commandant Dayman de la marine anglaise, et enfin par le professeur W. P. Trowbridge (1). Les échantillons du fond ont été recueillis avec des instruments inventés par le lieutenant Stellwagen, par le commandant Sands, par les lieutenants Craven, Berryman et Brooke. Les résultats obtenus sont résumés par des tableaux de courbes et par une carte montrant bien les limites ainsi que les variations de température du Gulf-Stream sur les côtes des États-Unis. Signalons particulièrement l'existence d'un courant froid entre la terre et le Gulf-Stream. L'eau chaude venant du golfe du Mexique recouvre d'ailleurs l'eau froide descendant du pôle et les observations du commandant H. Davis ont montré qu'entre les deux courants la température est celle qui résulte de la conductibilité de l'eau pour la chaleur. Une coupe longitudinale du detroit de la Floride fait voir comment la température varie avec le fond. Des tableaux donnent les courbes des températures correspondantes à la même profondeur et réciproquement les courbes des profondeurs correspondantes à la même température. La carte jointe au mémoire représente la partie du Gulf-Stream comprise entre Tortugas et le cap Cod. Le long de la côte de Cuba sa température en juin est environ 80° F., c'est-à-dire de 8° supérieure à la température moyenne de Key West. Bien que le courant soit faible en cet endroit, il est cependant recherché par les bâtiments et même par les steamers. A la sortie du détroit de Bemini ou des Florides, le Gulf-Stream se rend au nord, vers lequel il est dirigé par la forme de la côte. Sa vitesse est alors de 3 à 4 milles à l'heure; elle ne doit pas être attribuée à des différences de température, car les plus grandes différences lui sont transversales. Dans ces parages, tandis que la température de la surface est au moins de 80°, celle du fond se réduit à 40°. A partir de Sainte-Augustine, le courant se dirige vers le nord-est. Entre Sainte-Augustine et le cap Hatteras, il reste à peu près parallèle à la côte, se déviant seulement de quelques degrés au nord et à l'est. A Hatteras, il

(1) *American Journal*, XXVIII, 1854.

remonte vers le nord et à la latitude du cap Charles, il s'incline à l'est, avec une vitesse qui ne dépasse pas 1 mille et demi à l'heure. Il est très-probable que le courant suit le relief de la côte au-dessous du niveau de l'eau: c'est ce qu'indiquent la côte elle-même, la courbe horizontale à la profondeur de 100 fathoms, ainsi que les collines sous-marines qui ont été découvertes par les lieutenants Maffitt et Craven. En un mot, la direction générale du Gulf-Stream est surtout réglée par la forme du fond de la mer, bien qu'elle soit aussi influencée par d'autres causes plus générales.

Hydrographie souterraine. Almyros.

M. V. Raulin (1) a étudié les *almyros* ou sources d'eau saumâtre de l'île de Crète. Ces sources sortent à plus d'un kilomètre du rivage et à une faible hauteur au-dessus du niveau de la mer. Elles ont une température qui est à 5° au-dessous de la température moyenne du sol; ce sont donc des sources froides; et les réservoirs qui les alimentent sont situés au-dessus du niveau de la mer et même à plusieurs centaines de mètres. Les pluies les font d'ailleurs grossir; aussi en hiver et au printemps leur salure diminue assez pour qu'elles deviennent potables. Une première, qui est près de Rhetymnon, se trouve à 13 mètres d'altitude et donne naissance à un gros ruisseau qui se jette dans la mer après un cours de 2 kilomètres. Une seconde est près de Megalo-Kastron. Cette dernière, puisée le 3 octobre, avait une densité de 1,00681, tandis que celle de l'eau de mer s'élève à 1,02580. Son analyse faite par MM. Baudrimont et V. Raulin a donné :

SiO^3	So^3,CaO	So^3,NaO	$NaCh^2$	HO	Somme.
0,0240	0,0625	0,0650	0,8385	99,0100	100,0000

On voit, d'après cette composition, que l'eau des almyros doit sa salure à du chlorure de sodium et à des sulfates de chaux et de soude qui sont dans les mêmes rapports que dans la glauberite. Ajoutons encore qu'elle ne contient pas de magnésie et qu'elle a beaucoup moins de sulfate que l'eau de la mer, en sorte qu'elle ne provient pas de cette dernière, qui serait plus ou moins étendue que l'eau de pluie. D'après M. V. Raulin, sa salure doit être attribuée à des masses de sel gemme, associées comme d'habitude à de la glauberite, qui se trouveraient sur le trajet des courants souterrains.

(1) *Description physique de l'île de Crète* (Société Linnéenne de Bordeaux, 1859), 376.

Eaux minérales fournies par des forages profonds. Louisville.

M. J. Laurence Smith (1) et M. Moissenet ont fait connaître les résultats obtenus dans un forage de Louisville, dans le Kentucky. Ce forage, dont la profondeur atteint 636 mètres, est exécuté dans le terrain devonien; il donne une eau jaillissante qui s'élève à 52 mètres au-dessus du sol. Il débite 1.500 mètres cubes d'eau en vingt-quatre heures, bien que le trou de sonde n'ait que $0^m,125$ à l'ouverture, qu'il se réduise même à $0^m,075$ à la partie inférieure. La température de l'eau est de 28°,06 au fond du puits et de 24°,72 seulement à la surface du sol. En admettant qu'à Louisville, de même qu'à Paris, la température soit constante et égale 11°,7 à 28 mètres au-dessous du sol, on trouve que l'accroissement de température serait de 1° pour $32^m,3$. La pesanteur spécifique de l'eau fournie par ce forage est 1,0113. Elle contient du reste du chlorure de sodium et des chlorures, des sulfates, des bicarbonates, des phosphates, des iodures, des bromures, des matières organiques, ainsi que de l'hydrogène sulfuré, de l'acide carbonique et de l'azote.

Lafayette.

M. Ch. Wetheril (2) annonce qu'à Lafayette, dans l'Indiana, on a obtenu de l'eau jaillissante et sulfureuse à la profondeur de 65 mètres. Sa température est de 12° à 15°. Son poids spécifique 1,005. Elle renferme de l'hydrogène sulfuré, de l'acide carbonique et de l'azote. Il s'y trouve aussi du carbonate de chaux, un peu de chlorures, de sulfates, de phosphates, de silice et même des traces d'iode. Elle contient d'ailleurs 10 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré par litre; aussi se trouble-t-elle quand elle est exposée à l'air.

On voit donc que les eaux fournies par des forages profonds peuvent être considérées comme minérales; c'est d'ailleurs ce qu'on observe jusqu'à Paris même, ainsi que le prouve l'analyse de l'eau du puits artésien de Grenelle qui a été faite par M. Péligot.

Écorce terrestre. Orographie. Alpes. Département du Doubs.

M. B. Studer (3) a publié une notice sur les couches en forme de C dans les Alpes.

MM. Parandier et Duhamel (4) se sont proposé de nive-

(1) *L'Instit.*, 7 septembre 1859, 292.
(2) *Geolog. Society*, XVI, 197.
(3) In-8, 17 pages.
(4) *Société d'agriculture de Lyon*, III, 1859. — Détails sur la géographie physique et sur les nivellements de diverses parties du département du Doubs, par MM. Parandier et Duhamel.

ler le département du Doubs, et bien que leur travail ne soit pas terminé, il présente des données intéressantes qui serviront de base pour des déterminations plus complètes. Déjà le Père Chrysologue (André de Gy) s'était occupé de déterminer plusieurs séries de hauteurs (1), mais il s'était contenté de suivre les chaînes principales du Jura sans avoir égard aux lignes de séparation des bassins. MM. Parandier et Duhamel ont, au contraire, exécuté leurs nivellements, soit sur les lignes des thalwegs, soit sur les lignes qui marquent la séparation des divers bassins. Généralement dans le département du Doubs, les chaînes de montagnes sont parallèles à un grand cercle de la sphère qui serait orienté N.-N.-E.; toutefois ces chaînes sont souvent interrompues et les lignes de séparation des bassins passent alors d'un faîte à celui d'une autre chaîne parallèle. Si ces lignes de séparation se déterminent aisément tant qu'elles suivent le sommet d'une chaîne, il n'en est plus de même lorsqu'elles passent d'une chaîne à une autre; car alors elles descendent toujours dans des parties basses où les mouvements du terrain sont peu prononcés et où il est difficile de fixer leur position d'une manière précise. Par exemple, dans le département du Doubs, lorsqu'un cours d'eau, comme le Doubs, le Dessoubre, coule N.-N.-E, c'est-à-dire parallèlement à la chaîne des montagnes, la ligne limite de son bassin est parallèle au thalweg duquel elle est très-rapprochée. Lorsqu'au contraire le cours d'eau est oblique ou perpendiculaire à la chaîne, la ligne limite de son bassin peut s'écarter beaucoup du thalweg; c'est en particulier ce qui a lieu pour la Loue depuis sa source jusqu'à Chenecey. Sur certains points, notamment dans les intervalles entre les grandes chaînes parallèles, il existe d'ailleurs des bassins complétement fermés dans lesquels les eaux pluviales se réunissent comme dans de vastes entonnoirs, et alors elles se perdent, soit par l'évaporation, soit par l'infiltration dans le sol. Lorsque ces bassins ont un fond qui est argileux, ou bien imperméable, ou même difficilement perméable, ils donnent lieu à des marais. Le marais de Saône en est un exemple dans le département du Doubs. Quant à la surface occupée par ces bassins fermés, elle représente environ le quart de la surface totale du département.

(1) *Journal des mines*, XVIII.

Le travail de MM. Parandier et Duhamel est accompagné d'une carte du département du Doubs sur laquelle sont figurées les lignes de partage des eaux à la surface du sol. Il importe d'ailleurs de remarquer que ces lignes de partage ne suffisent pas pour connaître complétement la distribution souterraine des eaux pluviales entre les cours d'eau; c'est seulement par une carte hydrologique indiquant la nature des terrains, telle que celle exécutée pour la ville de Paris que cette distribution pourrait être déterminée (1).

Lacs.

Dans une brochure sur la physionomie des lacs suisses, M. Desor (2) distingue deux types principaux: les lacs orographiques et ceux d'érosion. Les premiers peuvent encore se subdiviser en trois variétés, les lacs de vallon, de combe, de cluse. Enfin il existe aussi des lacs mixtes.

Contrées naturelles.

M. Antoine Passy (3) s'est proposé de représenter les contrées naturelles de la France. Déjà plusieurs observateurs ont appelé l'attention sur certains territoires qui se distinguent des autres par une physionomie particulière, et qui forment des contrées naturelles. On peut citer en France l'abbé Soulavie, d'Omalius d'Halloy, Élie de Beaumont, Dufrénoy, Victor Raulin; en Allemagne, de Humboldt et surtout Bernhard de Cotta, qui a même publié un ouvrage spécial sur le sol de l'Allemagne (4). Les contrées naturelles ont des caractères physiques qui leur sont propres et, par suite, un nom significatif leur a été attribué. Comme l'observe M. A. Passy, elles doivent leurs caractères au relief du terrain, à la constitution géologique, à la végétation, au régime des eaux et aux conditions atmosphériques. Elles sont d'ailleurs invariables comme la nature elle-même. En France, les noms donnés aux contrées naturelles paraissent tirés de la langue la plus ancienne ou de la langue celtique. M. Ant. Passy en donne la preuve en remontant à l'étymologie du Perche, de l'Argonne, de la Brenne, de l'Auvergne, des Cévennes, de la Sologne, du Morvan, de la Crau.

(1) Delesse. *Carte hydrologique de la Ville de Paris*; 1858.
(2) *Revue Suisse*, 1860.
(3) Essai sur les contrées naturelles de la France. *Recueil des travaux de la Société libre d'agriculture, sciences, arts et belles-lettres de l'Eure* (3e s.), V, 129.
(4) B. von Cotta. *Deutschlands Boden, sein geologischer Bau und dessen Einwirkungen auf das Leben der Menschen.*

Les contrées qui sont formées par un même terrain géologique offrent les mêmes traits à des distances considérables. » Ainsi, dit M. Passy, les landes de Brenne, de Sologne, la » Bresse, la Dombes, le Forez ont des traits de ressemblance » évidents.

» Les bocages vendéen et normand sont de la même nature » géologique et agricole. Les plaines calcaires prennent par- » tout le nom de Champagne ou campagne et portent des » céréales.

» Les gâtines ont un même aspect désolé et appellent les » défrichements. »

L'étude de la constitution géologique permet de tracer avec sûreté la limite des contrées naturelles. Et il est facile de s'en rendre compte ; car la composition du sol, la constitution physique des terres, leur mode d'agrégation, leur compacité, leur perméabilité sont les bases mêmes de l'agriculture. Les contrées naturelles sont aussi indiquées par la végétation. Ainsi les terrains silcieux sont couverts de bruyères et de fougères. Le châtaignier ne peut croître que sur un sol siliceux. La *digitalia purpurea*, *l'ulex purpureus*, le *spartium scoparium* indiquent également un sol siliceux.

Les animaux et particulièrement les bestiaux subissent l'influence du sol; leurs races sont légères dans les montagnes, petites dans la Bretagne, fortes et pesantes dans le Cotentin et dans la Flandre. L'homme lui-même est soumis aux influences du sol sur lequel il vit, et ces influences se font particulièrement sentir par des altérations dans sa constitution et par l'aptitude à contracter des maladies. La mortalité, par exemple, qui est de 4 p. 100 dans la Brenne, se réduit à 1,5 dans les autres parties du département de l'Indre.

Influence de l'orographie sur le climat.

M. Hennessy (1) a recherché l'influence exercée sur le climat par la distribution de la terre et de l'eau. Chaque point à la surface de la terre gagne et perd constamment de la chaleur; et sa température à un moment donné dépend de la différence entre ce gain et cette perte. Si l'écorce terrestre était exclusivement composée de parties solides, son climat dépendrait principalement de la chaleur fournie par le soleil et de celle rayonnée dans l'espace. Mais la terre est complétement

(1) *The Atlantis*, etc. janvier 1859, et *Philosophical Magazine* (4e s.), XVII, 181.

entourée par une atmosphère et en partie recouverte par la mer, de sorte que ses conditions de température sont fortement influencées par les propriétés physiques des fluides qui l'enveloppent. Tandis qu'un solide est soumis dans son échauffement et dans son refroidissement à des lois qui sont bien définies, il n'en est pas de même pour les lois que suivent les gaz et les liquides, car elles sont entièrement modifiées par la mobilité de leurs parties. En outre, des changements d'état se produisent fréquemment dans les fluides, soit par évaporation ou par condensation, soit par congélation ou par liquéfaction; or, ces changements tendent surtout à compliquer l'étude des relations thermales. Voici du reste les conclusions qui ont été formulées par M. Hennessy :

Les propriétés physiques de l'eau sont beaucoup plus favorables que celles de la terre à l'accumulation, à l'absorption et à la répartition de la chaleur solaire dans l'enveloppe extérieure de la terre. Ce fait résulte d'une manière bien évidente des phénomènes que nous présentent les mers tropicales de l'époque actuelle.

La distribution de terre et d'eau qui donnerait la plus grande température moyenne serait celle dans laquelle il existerait de vastes mers tropicales et des groupes d'îles distribuées régulièrement soit en dedans, soit en dehors des tropiques. L'observation semblerait d'ailleurs indiquer que c'est précisément ce qui avait lieu dans les premières époques géologiques.

Si la température moyenne de l'hémisphère nord est supérieure à celle de l'hémisphère sud, il faut probablement l'attribuer, non pas à l'influence d'une plus grande proportion de terre dans le premier, mais aux courants qui déterminent le transport vers le nord d'une portion de la chaleur solaire absorbée au sud de l'équateur.

Toutefois, c'est dans l'origine même de la terre qu'il faut chercher la cause de sa forme et de la diminution graduelle que sa température a subie depuis les premières époques géologiques.

Climats à différentes époques géologiques.

Le révérend Samuel Haughton (1) a appelé l'attention sur les changements de climats survenus dans les latitudes

(1) *The natural history Review*. Avril 1860, n° XXVI, 167.

élevées de notre globe. Les découvertes géologiques faites dans l'archipel arctique par le capitaine M'Clintock, le capitaine Sherard Osborne et leurs compagnons ont bien démontré ces changements; et il faut reconnaître qu'il est difficile dans l'état actuel de la science d'expliquer d'une manière complétement satisfaisante les variations de climats qui se sont produites sur un même point aux différentes époques géologiques.

Les faits observés sont les suivants :

Sir Edouard Belcher a trouvé des os d'ichthyosaure à l'île Exmouth, latitude 77° 16′, longitude 96°, à 570 pieds au-dessus du niveau de la mer.

Le capitaine Sherard Osborne a trouvé deux os d'un reptile voisin du teleosaurus sur la colline du Rendez-Vous, latitude 76° 22′ N., longitude 104° O, dans l'île Bathurst.

Le capitaine M'Clintock a trouvé plusieurs ammonites très-voisines de celles du lias d'Europe, à Point Wilkie, île du Prince Patrick, latitude 76° 15′ N., longitude 117° O.

Nous ajouterons d'ailleurs que l'existence de la flore houillère a été constatée dans les régions polaires.

D'après M. S. Haughton, si l'on admettait la distribution actuelle de la terre et de l'eau sur notre globe, on serait conduit à supposer qu'à l'époque à laquelle les fossiles jurassiques et les plantes du terrain houillier vivaient au pôle, l'équateur n'était pas habitable par les espèces terrestres ou marines.

Parmi les théories qui peuvent être imaginées pour expliquer les faits, M. S. Haughton en indique trois : 1° un refroidissement séculaire du globe; 2° un changement d'axe de la terre; 3° une distribution différente de la terre et de l'eau. Cette dernière théorie lui paraît mériter la préférence et il se propose de la développer ultérieurement.

Mouvements du sol. Le sol est soumis, comme on le sait, à des oscillations lentes; parmi les contrées dans lesquelles elles se sont produites, mentionnons d'abord le littoral de la Manche où elles ont été bien constatées, même depuis les temps historiques. Ainsi, d'après M. Bonissent (1), en 709 le monastère du mont Saint-Michel fut construit en pleine forêt, à dix lieues de la mer, et bientôt après la forêt fut submergée et le mont devint une

Manche.

(1) Extrait des séances du congrès scientifique de France tenu à Cherbourg au mois de septembre 1860. — Réponse aux questions géologiques.

île. Vers l'année 1244 une marée formidable fit pénétrer la mer jusqu'à 24 kilomètres dans les terres. Ces envahissements de la mer paraissent se continuer de nos jours, notamment dans la baie de la Hougue et dans le havre de Carteret. Les affaissements du sol sur le littoral de la Manche sont encore démontrés par l'existence de tourbières et de forêts qui ont été trouvées sous la mer. En 1812, à la suite d'une tempête, de la Fruglaye a suivi sur une longueur de sept lieues une forêt sous-marine composée des arbres qui vivent actuellement dans le pays. Cette forêt s'étend jusqu'à une grande distance du rivage; et lorsque la mer se retire assez loin, les habitants de quelques villages voisins du littoral utilisent même les bois qu'elle fournit.

Caithness. M. J. Cleghorn (1) a aussi observé des forêts submergées aux environs de Caithness; il y en a notamment à Lybster, dans les baies de Wick et de Sinclair. Elles se sont formées à l'embouchure de cours d'eaux, et les végétaux qu'elles renferment sont ceux qui croissent encore sur leurs bords. Si elles se trouvent maintenant au-dessus du niveau de la mer, il faut l'attribuer à une élévation du sol qui est d'ailleurs bien démontrée par l'existence de patelles à un niveau supérieur à celui des plus hautes marées.

Ile de Crète. L'île de Crète permet encore de constater nettement des oscillations du sol, et M. V. Raulin (2), qui a étudié ses alluvions marines émergées, a reconnu un exhaussement d'une vingtaine de mètres depuis la période actuelle. Les faits sont surtout bien évidents sur la côte septentrionale; tandis que dans la presqu'île de Sitia, les dépôts des plages n'atteignent guère plus d'un mètre au dessus du niveau de la mer. Les officiers anglais qui se sont occupés de l'hydrographie de l'île de Crète, MM. Leycester et T. Spratt, ont également observé cet exhaussement de l'île; d'après M. T. Spratt, à Matala et sur quelques autres points, il y aurait en outre un abaissement postérieur de la côte orientale.

Caroline du Sud. Enfin M. O. Lieber (3) a encore signalé des mouvements lents éprouvés par le sol sur la côte de la Caroline du Sud. Ils ont produit et produisent encore des changements bien visibles

(1) *British Association for the advancement of science*, 1859. 101.
(2) *Description physique de l'île de Crète*, 625.
(3) *Americ. J.*, 1859, XXVIII, 355.

dans les contours de la côte, dans son hydrographie ainsi que dans les autres caractères présentés par le pays. Plusieurs périodes peuvent facilement être distinguées : 1° une dépression ancienne de la côte; 2° un changement dans le cours des rivières au voisinage de la côte; 3° une élévation récente et par suite une extension graduelle du rivage; 4° une dépression actuelle de la côte et un changement dans les îles du littoral.

Phénomènes volcaniques. Volcans boueux.

M. F. Bernal (1) a visité les volcans boueux de Turbaco. Ils forment une trentaine de collines coniques ayant environ 3 mètres de hauteur, dans chacune desquelles il y a un petit cratère d'un diamètre de $0^m,60$. Ce cratère est rempli par une matière boueuse; et toutes les deux ou trois minutes un léger bruit se fait entendre et un dégagement produit l'écoulement de la matière boueuse. L'eau est presque froide : on n'a remarqué, soit actuellement, soit à des époques antérieures, aucune trace de l'action de la chaleur. Les gaz qui se dégagent sont d'ailleurs inflammables et accompagnés de produits bitumineux. Ce sont des hydrogènes carbonés qui, d'après M. G. P. Wall, prennent naissance dans le terrain contenant l'asphalte, lequel est très-commun dans toute la contrée (2).

Fumerolles.

Dans une lettre adressée à M. Ch. Sainte-Claire Deville, M. Palmieri (3) annonce que, depuis le 1er mai 1858, le Vésuve a détruit le Fosso-Grande. En outre, ses fumerolles ont donné des sels ammoniacaux, beaucoup de sels de cuivre et de plomb, peu de fer, du sélénium ainsi que du titane.

Troncs d'arbres dans le tuf ponceux.

M. J. Savarèse (4), dans une lettre adressée à M. E. de Beaumont, a fait connaître l'existence de troncs d'arbres verticaux dans le tuf ponceux qui recouvre Pompeï. Ces troncs, appartenant à des cyprès, sont encore en place et ont été recouverts lors de l'éruption de 79. Ils sont entourés par un tuf volcanique rouge brun qui est cimenté. Au-dessus de ces troncs vient un gravier blanc volcanique incohérent, puis un terrain de transport volcanique et la terre végétale.

Cratères de la lune.

M. Secchi (5) a observé que dans certains cratères de la

(1) *Geolog. Society*, XVI, 197.
(2) *Geolog. Society*, XVI, 468. G. P Wall; sur la géologie d'une partie du Venezuela et de la Trinité.
(3) *Comp. rend.*, 1860, L, 726.
(4) *Comp. rend.*, 1860, L, 758.
(5) *Comp. rend.*, 17 janvier 1859. — *L'Instit.*, 1859, 19 janvier, 189.

lune qui sont très-développés, et notamment dans celui nommé Copernic, le fond de la cavité intérieure ne se trouve pas au-dessous de la plaine, comme dans certains cratères plus petits, mais au contraire à plus de 1.000 mètres au-dessus.

Systèmes de montagnes. Margeride et Vosges.

M. A. Vézian (1) a cherché à faire voir que deux systèmes de montagnes, ceux de la Margeride et des Vosges, sont respectivement perpendiculaires aux systèmes du Hundsrück et des Ballons de M. Élie de Beaumont.

La chaîne de la Margeride est, en effet, perpendiculaire à la ligne qui, sur le bord méridional du plateau central de la France, représente la direction du Hundsrück. La ligne qui, par 44° 15′ N. et long 1° 38′, suit la direction de la Margeride, dessine la limite orientale du terrain granitique entre Mende et Saint-Flour, sépare le bassin de l'Allier de celui du Tarn et du Lot, et au nord passe près du mont Dore. On retrouve cette ligne dans la direction générale du Rhin depuis le Binger-loch jusqu'à Dusseldorf; cette dernière étant prolongée rencontre le volcan de Snœfield en Islande et au sud va passer près du Vésuve.

Le système perpendiculaire à celui des Ballons se révèle : 1° dans la partie septentrionale de la chaîne scandinave; 2° dans le massif des Vosges; 3° en Bretagne sur la ligne de partage entre la Mayenne et les cours d'eau qui se rendent directement à l'Océan.

Île de Crète.

M. V. Raulin (2) résume ainsi ce qui concerne les systèmes de montagnes de l'île de Crète, étudiés déjà par MM. Boblaye, Virlet et E. de Beaumont. Il semble bien probable, dit M. Raulin, que c'est aux systèmes des Pyrénées ou Achaïque et du Sancerrois ou de l'Érymanthe, que la Crète doit les traits principaux de son relief, les extrémités surtout ayant été façonnées par d'autres systèmes, peut être par ceux de la Corse et du Vercors. Le système des Alpes principales ou Argolique aurait d'ailleurs occasionné une dernière élévation en masse qui a donné à l'île son unité.

Appalaches.

D'après M. Arnold Guyot (3), le système de couches soulevées qui constitue les monts Appalaches s'étend dans une direction moyenne du N.-E. au S.-O., depuis le promontoire de

(1) *Comp. rend.*, 1860, L, 89.
(2) *Description physique de l'île de Crète*, 646.
(3) *Americ. J.*, 1861, 157.

Gaspé sur le golfe du Saint-Laurent jusqu'à l'Alabama. Cette longue série de montagnes se compose d'un nombre considérable de chaînes sensiblement parallèles sur une certaine distance. Elle forme un système qui n'a point, comme les Alpes, un axe principal autour duquel s'étendent des chaînes secondaires subordonnées. On peut le comparer au Jura, car il est, comme ce dernier, composé de longues chaînes parallèles et très-régulières, dont les hauteurs dans la même partie du système sont peu différentes les unes des autres. Dans la partie moyenne, surtout en Pensylvanie et dans le Nouveau-Jersey, ces chaînes se présentent à l'observateur comme de véritables murs horizontaux : ce caractère est pourtant modifié aux extrémités septentrionale et méridionale, vers lesquelles l'orographie devient plus compliquée.

Il est un caractère par lequel les Appalaches se distinguent du Jura; c'est la division bien marquée en deux zones longitudinales. L'une de ces zones est tournée vers l'Atlantique et la forme des chaînes parallèles y domine; l'autre est située dans l'intérieur du continent; elle est composée de plateaux élevés et continus descendant de l'escarpement oriental qui la termine vers les bassins des lacs et vers la vallée de l'Ohio. Une large vallée centrale traverse tout le système du nord au sud; elle est occupée au nord par le lac Champlain et la rivière Hudson; en Pensylvanie, elle porte le nom de vallée Kittatinny ou Cumberland. En Virginie, c'est la Grande-Vallée; plus au sud, la vallée du Tennessee oriental. La chaîne qui borde cette grande vallée au sud-est s'étend presque sans interruption du Vermont à l'Alabama. Dans le Vermont, elle porte le nom de Montagnes-Vertes; dans New-York, celui de Highlands; en Pensylvanie, de Montagnes du Sud; en Virginie, de Chaîne-Bleue (blue ridge); dans la Caroline, du Sud, et dans le Tennessee, de Montagnes de fer (iron mountains), Montagnes fumeuses (smoky mountains) et aussi Montagnes d'Unaka.

M. Guyot divise le système des Appalaches en trois parties principales : la première division, placée au nord, est la plus isolée; elle est formée de roches siluriennes et dévoniennes; elle comprend le plateau triangulaire de l'Achirondack, avec les chaînes qui séparent le lac Champlain et le Saint-Laurent, le lac Ontario et le Mohawk; en second lieu, la Nouvelle-Angleterre; enfin la région qui va des sources du Connecticut par le Maine au Canada et au Nouveau-Brunswick.

La division centrale est composée d'un grand nombre de chaînes parallèles, dont les élévations moyennes varient entre 800 et 2.500 pieds. En Virginie, les altitudes s'élèvent jusqu'à 4.000 pieds. Dans la zone des plateaux, l'altitude moyenne est de 2.000 pieds; les vallées qui les séparent ont à 1.500 pieds en moyenne au-dessus du niveau de la mer.

La division méridionale a les caractères physiques les plus variés et les plus grandioses : les altitudes dépassent 5.000 pieds dans la chaîne bleue, 6.000 pieds dans la montagne noire et dans les montagnes fumeuses.

Une carte et un tableau d'altitudes complètent le mémoire de M. Guyot.

Amérique centrale.

Les systèmes de montagnes de l'Amérique centrale ont été étudiés par J. Durocher (1). Le plus important de tous est le système longitudinal qui est parallèle à l'axe de la contrée; il est bien représenté par un grand cercle qui joint l'Orizaba, haut de 5.400 mètres, au Tolima haut de 5.520. Cette ligne, qui a 700 lieues de long, coïncide avec l'axe de la chaîne volcanique centrale américaine.

Le système de Segovia, qui se reconnaît dans des directions comprises entre E. 25° N. et E. 30° N. dans un grand nombre de chaînons, est représenté par un cercle qui joint le volcan de Coseguina au cap de Gracias, où est l'embouchure du Rio Segovia.

Un troisième système a produit des chaînons et des vallons courant de l'est à l'ouest; ce système du Vénézuela et des volcans du Mexique est représenté exactement sur le globe de M. Élie de Beaumont, par l'octaédrique qui passe près de Guatémala.

Le quatrième système, qui est le système méridien de la Nouvelle-Grenade et de l'Amérique centrale, est à peu près perpendiculaire au précédent; il est assez bien représenté sur le globe de M. Élie de Beaumont par le dodécaédrique rhomboïdal qui passe par les îles Gallapagos.

Les deux premiers systèmes ont affecté des terrains porphyroschisteux; mais le premier, c'est-à-dire le système longitudinal, s'est reproduit à une époque récente, quand s'est formé le chaînon volcanique de l'Amérique centrale.

(1) *Comp. rend.*, 1860, LI, 43.

Alignements des minerais de fer.

M. de Chancourtois (1) a fait observer que les minerais de fer du département de la Haute-Marne s'alignent suivant des directions qui concordent exactement avec les failles et les accidents géologiques. On s'en rend compte facilement en remarquant que les minerais de fer étant des produits d'émanation doivent se trouver vers les fissures de l'écorce terrestre et particulièrement aux croisements. Parmi leurs alignements, M. de Chancourtois signale des directions variées et même propres à des systèmes qui sont antérieurs aux terrains comprenant les gîtes; il indique, par exemple, la direction du système du Rhin comme très-fréquente dans les minerais du terrain néocomien de la Haute-Marne. D'un autre côté des gîtes compris dans des terrains différents peuvent aussi être distribués sur une même ligne. Enfin, les gypses de la Haute-Marne sont également alignés suivant des directions qui concordent avec celles observées par M. Elie de Beaumont pour les gypses des marnes irisées; de plus, ces directions concordent quelquefois avec celles des minerais de fer et même avec les sources minérales et avec les dépôts de tuf.

Temps géologiques : Leur comparaison par l'approfondissement des vallées.

M. de Dechen (2) a cherché à apprécier l'âge des coulées de lave au moyen de l'approfondissement des vallées dans lesquelles elles se sont répandues. Si les vallées appartenant à un bassin hydrographique sont creusées dans une même roche, et si l'on admet que leur approfondissement ait eu lieu d'une manière uniforme, par suite de ce que des forces égales agissaient sur la même substance minérale, cet approfondissement pourra jusqu'à un certain point servir à mesurer le temps. Que l'on considère, par exemple, une région volcanique comme l'Eifel : les vallées de la Kyll, du Lieser, de l'Alf et du Cler débouchent toutes dans celle de la Moselle, et leur fond est creusé dans le schiste dévonien ancien. Ces vallées renferment des courants de laves et leur approfondissement au-dessous de ces courants sera, d'après M. de Dechen, d'autant plus grand que les éruptions volcaniques remonteront à une époque plus reculée; ce phénomène permettra donc de déterminer leur âge relatif.

(1) *Comp. rend.*, 1860, LI, 414.

(2) *Niederrhein. Gesellsch. für Naturh. zu Bonn*, 1860, 2 aug.— *N. Jahr. Miner.*, 1861, 95. Von Dechen : *Relatives Alter der Laven-Ströme in der Eifel.*

Il faut remarquer toutefois que la résistance d'une vallée à la destruction dépend, non-seulement de la roche qui forme ses parois, mais surtout de la vitesse et du volume de son cours d'eau; par suite, l'érosion à l'époque actuelle n'est pas proportionnelle au temps, mais elle dépend surtout des crues; en outre elle est toute différente de l'érosion produite à l'époque diluvienne, et elle lui est difficilement comparable.

Leur comparaison par l'épaisseur des terrains.

M. John Phillips (1) s'est proposé, d'un autre côté, de comparer entre eux les temps nécessaires au dépôt des divers terrains stratifiés. Comme le remarque l'auteur, il convient d'observer d'abord que les lois de la nature sont restées les mêmes, bien que beaucoup de conditions aient pu changer. Parmi ces conditions, choisissons alors celles qui étaient le moins variables, comme l'action mécanique de l'eau qui est mise en mouvement par la déclivité du sol ou par les marées, comme le vent qui est provoqué par des différences de température et par des changements d'état de la vapeur d'eau contenue dans l'air; considérons, en un mot, les agents atmosphériques, lacustres et marins. Tandis que ces agents détruisaient la surface de la terre sur certains points, sur d'autres ils l'augmentaient par des dépôts, et nous pourrons prendre le résultat moyen de tous leurs effets comme équivalent à l'unité de temps. L'accumulation du sable et de l'argile s'observe, comme l'on sait, dans toutes les couches qui renferment des débris organisés. L'accumulation du calcaire est plus lente et provient de causes différentes; mais il existe des calcaires dans chaque grand système naturel de strates, par suite il est également nécessaire d'en tenir compte. Prenons donc les principaux dépôts formés par l'action des eaux, c'est-à-dire les grès, les argiles, les calcaires, et joignons-y les conglomérats, les schistes, les calcaires crayeux. Représentons d'ailleurs par 100 l'ensemble des terrains stratifiés dans lesquels des êtres organisés ont été observés, et admettons leur épaisseur maximum telle qu'elle a été donnée par M. Ramsay pour les Iles Britanniques :

(1) *Geolog. Society*, 1860, XVI, li.

Terrains.	*Épaisseur.*	*Rapports.*
Tertiaire.	2.240 pieds.	3
Secondaire	13.190	18
Primaire ou paléozoïque. . .	57.154	79
	72.584 pieds.	100

Ce diagramme met bien en évidence une conclusion très-importante; comme le remarque M. John Phillips, il montre que dans la première période de notre globe, la vie des animaux qui peuplaient la mer a éprouvé des changements beaucoup moins rapides que dans la période relativement récente. Cela s'accorde du reste avec la dispersion des formes paléozoïques sur une très-grande étendue. En admettant que les changements de la vie soient les mêmes, quand on passe d'une grande période à celle qui la suit immédiatement, c'est-à-dire de la période primaire à la période secondaire et de cette dernière à la période tertiaire, on a pour la raison de ces changements progressifs dans chaque période

$$\frac{1}{79}, \quad \frac{1}{68}, \quad \frac{1}{3}.$$

Ce résultat doit être sans doute attribué à ce que notre globe subit maintenant des changements beaucoup plus rapides dans ses conditions physiques et à ce que sa température était autrefois beaucoup plus uniforme.

II. ROCHES.

Propriétés générales. Clivage.

M. Robert Harkness (1) a appelé l'attention sur les clivages que présentent diverses roches. Celles qu'il a spécialement examinées sont le grès jaune (yellow sandstone) et le calcaire carbonifère des environs de Cork. Leurs clivages peuvent être verticaux, horizontaux ou obliques. Discutant les opinions qui ont été proposées pour expliquer la formation des clivages, il énumère successivement celles de MM. Phillips, Murchison, Sedgwick et Jukes. Il observe ensuite que, les calcaires qui présentent des clivages plus parfaits étant d'une grande pureté, on doit présumer qu'ils ont plus de tendance à prendre une structure cristalline que les calcaires impurs. En sorte que le développement des cristaux de chaux carbonatée pourrait, indépendamment de la pression, contribuer à la production des clivages complexes et rhomboédriques qui s'observent quelquefois dans les roches calcaires (1).

(1) *Geolog. Society*, XV, 86.

M. G. Poulett Scrope (2) a cherché de son côté à expliquer le clivage et la lamination des roches par un mouvement irrégulier de leurs parties. Il observe, par exemple, que l'éruption d'une masse de granite doit être accompagnée par un grand mouvement interne et par un frottement mutuel des substances et des cristaux qui la composent. Par suite, si un ingrédient lubrifiant, comme de l'eau contenant de la silice en dissolution, ou bien de la silice gélatineuse, est intimement mêlé avec les cristaux, le frottement sera par cela même diminué, particulièrement dans le centre ou vers le bas de la masse. Mais, dans les parties latérales et les plus élevées qui subissent la résistance et la pression des roches superposées, le mouvement pourra devenir assez prédominant dans une direction perpendiculaire à la pression pour donner lieu à un arrangement lamellaire des cristaux solidifiés. Dans cette hypothèse, on admet que la structure veinée du gneiss et du micaschiste a été produite par la pression des parties latérales et superficielles sur la masse granitique. Une cristallisation peut d'ailleurs accompagner ou suivre cet arrangement lamellaire; et, dans ce cas, les grands axes des cristaux prendront une direction perpendiculaire à la pression; car la cristallisation sera plus libre dans cette direction que dans toute autre. M. G. Poulett Scrope observe encore que le frottement interne combiné au mouvement sous des pressions irrégulières exercera son influence, soit sur les roches aqueuses, soit sur les roches ignées. Il ajoute que c'est peut-être à cette cause qu'on doit attribuer la structure veinée de quelques marbres, des brèches calcaires, des serpentines, aussi bien que le clivage des roches schisteuses, et à

(1) Lyell. *Manuel de géologie.*

(2) *Geolog. Society*, XV, 84. On lamination and cleavage occasioned by the mutual friction of the particles of Rocks while in regular motion.

l'appui de son opinion il invoque les expériences de MM. Sorby et Tyndall.

Structure conique.

Les marnes présentent quelquefois une structure conique très-bizarre qui s'observe notamment dans le terrain houiller d'Angleterre, où elle a été nommée *Cone in cone*. M. H. Clifton Sorby (1) qui a examiné des tranches minces de ces marnes à la lumière polarisée, pense que leur structure est due au développement de petits cristaux de carbonate de chaux qui sont plus ou moins mélangés d'argile et qui forment des masses coniques.

Tassement.

M. J. Carvallo (2) a fait, pendant une durée de trois ans, un grand nombre d'expériences ayant pour but de déterminer les lois du tassement des remblais. Ce tassement dépend de la nature des remblais et aussi de leur mode d'exécution. Il reste constant quand la hauteur du remblai est moindre que 6 mètres et au moins triple de la valeur du tassement. On se rend compte de ce fait en observant que les couches inférieures sont de plus en plus pressées à mesure que le remblai se forme et qu'elles arrivent promptement à l'état d'équilibre stable; en outre elles sont protégées contre les variations atmosphériques. La couche supérieure seule se tasse pendant un certain temps. Toutes choses égales, ce tassement est le plus grand dans les roches argileuses et le plus petit dans les roches sableuses.

Hygroscopicité.

L'hygroscopicité de différentes terres végétales de la Bresse et de la Dombes a été déterminée par M. Pourian (3). La méthode suivie est à peu près celle qui est habituelle: la terre à essayer était d'abord tamisée, puis desséchée à 100°; on la jetait ensuite sur un entonnoir muni d'un filtre saturé d'eau, et après l'avoir bien imbibée, on cherchait par son augmentation de poids quelle était la proportion d'eau retenue dans 100 parties.

(1) *British Association for advancement*, etc., 1859. — *L'Instit.*, 1859, 30 novembre, 388.
(2) *Revue universelle des mines*, VII, 498.
(3) *Annales de la Société impériale d'agriculture de Lyon* (3e s.), II, 190.

Nature de la terre.	*Eau.*
Argile très-siliceuse et en même temps caillouteuse de Cérigneux.	35
Argile siliceuse, blanche et ténue du Ferrier	40
Argile siliceuse rougeâtre avec de gros grains de gravier, de l'Ile-Barbe.	44
Argile siliceuse, mélangée à 6 p. 100 de carbonate et désignée sous le nom de Lehm de Sathonay-le-Village	50
Argile ténue, déposée au fond d'un ancien étang; de l'École d'agriculture de la Saulsaie	55
Argile siliceuse très-ténue, formant la terre végétale des Prés-Seigneur	67
Argile siliceuse, ténue, noirâtre et imprégnée de tourbe, des Échets.	68
Argile siliceuse, ténue, noirâtre, formant, au fond d'une vallée, la terre végétale du Pré-de-Sainte-Croix	76

Les causes qui influent sur l'hygroscopicité d'une roche sont extrêmement variées (1). Mais des essais chimiques faits sur les terres expérimentées par M. Pouriau ont montré que, toutes choses égales, l'hygroscopicité augmente généralement avec l'humus ou la matière organique et avec l'argile. Elle augmente aussi avec l'état de division, et c'est particulièrement dans les terres sableuses qu'elle est la plus petite. Si l'hygroscopicité est assez faible dans plusieurs des terres qui viennent d'être examinées, il faut d'ailleurs l'attribuer à ce qu'elles sont très-siliceuses, à ce qu'elles contiennent peu d'alumine et par suite peu d'argile.

M. W. K. Sullivan (2), dans une série de recherches sur les terres végétales de l'Irlande, a aussi cherché à apprécier comment leur hygroscopicité varie avec leur proportion de sable.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau qui suit; la première colonne indique la nature minéralogique des débris pierreux qui se trouvent dans la terre soumise à l'expérience; la deuxième, la densité de cette terre; la troisième, sa proportion de sable; la quatrième, enfin son hygroscopicité ou la quantité d'eau retenue dans 100 parties de la terre desséchée.

Nature des débris dans la terre.	*Densité.*	*Sable.*	*Eau.*
Calcaire et grès	2,289	26,39	95,39
Grès brun et débris de *calp*	2,220	47,32	67,28
Débris granitiques	2,445	47,43	69,42
Calcaire, sable quartzeux	2,445	54,72	55,73
Calcaire, sable quartzeux	2,420	54,91	52,87
Grès, schiste, sable quartzeux	2,400	67,11	92,88
Grès, schiste, sable quartzeux	»	67,45	74,85

(1) *Ann. d. mines*, 1860, XVIII, 151. Recherches de l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre par M. Delesse.
(2) *The Atlantis*, etc., 1860, janvier, n° V, 213.

Les terres sont ordonnées dans ce tableau par rapport à leur proportion de sable et l'on voit que l'eau retenue ne varie pas toujours en sens inverse. Il faut remarquer cependant que ces terres étant formées des débris les plus divers, leur partie ténue ou argileuse est elle-même très variable; elles ne contiennent d'ailleurs, ni le même sable, ni la même argile, et l'on sait que cette dernière est surtout très-inégalement avide d'eau; en un mot, comme nous l'avons déjà fait observer ci-dessus, les causes qui tendent à faire varier l'hygroscopicité des terres sont extrêmement complexes.

Fusion.

Une expérience en grand sur la fusion du basalte a été faite par M. Hawkes (1). 51 quintaux du basalte de Rowley-Hill ont été fondus dans un four à réverbère double ayant de grandes dimensions; après un refroidissement lent qui dura treize jours, on trouva que la masse fondue était boursouflée à sa partie supérieure et sur un pouce d'épaisseur; près de la porte du fourneau par laquelle l'air pouvait pénétrer, elle présentait un verre noir ayant une épaisseur de 2 à 8 pouces; mais tout le reste était à l'état pierreux et montrait seulement quelques cellules. On sait du reste que les coulées de lave offrent les mêmes variations dans leur structure, qui est surtout celluleuse à la partie supérieure.

Analyse des roches.

M. Alphonse Gages (2) a appelé l'attention sur l'interprétation des résultats fournis par l'analyse chimique des roches. Il a fait remarquer qu'une analyse chimique brute donne des indications beaucoup moins précises que l'attaque successive par les acides, surtout lorsqu'elle permet de séparer les minéraux qui composent cette roche. Ainsi, la serpentine de Penzance attaquée par un acide laisse un squelette qui est formé de diallage et d'amphibole hornblende. Dans d'autres roches regardées comme serpentines, on peut quelquefois par la même méthode reconnaître des veines de silice qui restent inattaquées. On conçoit que si ces substances contenues dans une roche sont en petite quantité, leur existence échappera facilement dans la comparaison des résultats bruts de l'analyse. M. Gages indique cette méthode comme devant donner de bons résultats dans l'étude des roches, particulièrement de celles qui sont métamorphiques; il est d'ailleurs juste d'ajouter qu'elle a déjà été employée par les personnes qui se sont occupées de cette étude.

(1) *Jahresbericht*, 1859, 829.— *Quarterly Journal from Geol. Soc.*, XV, 105.
(2) *Philosophical Magazine* (4e s.), XVIII, 169.

ROCHES PROPREMENT DITES.

Nous partagerons dans cette revue les roches en deux grandes classes : les roches proprement dites et les roches anormales ou métallifères. Dans chacune de ces classes, nous les grouperons d'ailleurs par famille.

Occupons-nous d'abord des roches proprement dites.

Combustibles. Tourbe. Pays de Bade. Hongrie.

MM. Nessler et Petersen (1) ont donné l'analyse élémentaire de diverses tourbes et cendres de tourbe du pays de Bade.

M. Pokorny (2) a fait des recherches sur la tourbe de la Hongrie. Elle couvre d'immenses surfaces dans les plaines ou dans les montagnes, et dans ce dernier cas elle s'observe exclusivement sur le grès des Carpathes; son épaisseur ne dépasse guère 2 mètres. Les variétés suivantes sont distinguées par M. Pokorny : 1° gazon tourbeux d'une épaisseur de $0^m,80$ qui provient en grande partie de *carex stricta*, de mousses, de graminées, de joncs, de débris de bois; 2° tourbe proprement dite qui, dans la montagne, est plus pure, plus dense, et par suite plus estimée que dans la plaine; la tourbe de la plaine qui provient de débris de joncs est au contraire fibreuse et sèche, car elle a déjà subi un lavage naturel. 3° Substances tourbeuses homogènes qui présentent les caractères de la dopplérite de M. Schrotter (3).

Desséchée à l'air, la tourbe de Hongrie perd au moins 29 p. 100 de son volume ; sa densité varie après dessiccation de 0,55 à 0,67. Elle peut quelquefois absorber une proportion d'eau égale à son poids. Elle laisse 11 à 28 p. 100 de cendres. Son pouvoir calorifique est au plus de 2.400 calories; c'est un combustible qui est très-abondant en Hongrie, mais de qualité très-inférieure.

(1) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861, VIII.—J. Nessler. *Chemische Untersuchungen von Torf aus verschiedenen Torf-lagern des Badenschen Landes.*
(2) *Instit.*, 19 septembre 1860, 311. — *Académie des sciences de Vienne*, juin 1860.
(3) Dana. *Mineralogy*, 4e édit., 474.

Lignite. Bavière. M. Beyerlein (1) a décrit un gisement de lignite qui se trouve dans le Jura blanc de Wemding en Bavière. Ce lignite forme des amas extrêmement irréguliers et discontinus; moyennement leur longueur est de 120 mètres, leur largeur de 40 mètres, et leur épaisseur peut s'élever jusqu'à 6 mètres. Il contient de 30 à 36 d'eau et de 10 à 25 p. 100 de cendres.

Nouvelle-Zélande M. Tookey (2) a fait l'analyse du lignite de Drury, province d'Auckland, dans la Nouvelle-Zélande.

C	H	O	Az	S	Cendres.	HO	Somme.
55,57	4,13	15,47	4,15	0,36	9,00	14,12	100,80

A la distillation ce lignite donne un gaz dont le pouvoir éclairant est presque égal à celui du cannelcoal de l'Écosse. Sa proportion de coke est de 50, 68 p. 100. Il contient beaucoup d'azote, ce qui est déjà une raison de croire qu'il ne doit pas être ancien (3); et, en effet, M. Hochstetter a constaté qu'il appartient au terrain tertiaire.

Guano. Des explorations entreprises depuis quelques années dans les cavernes ont montré qu'elles renferment pour la plupart du guano de chauve souris. L'une de ces cavernes, celle de Baume, dans le département du Doubs, a été visitée par MM. Humbert et Moretin (4). Ils ont constaté que le guano s'y trouve déposé au-dessous des endroits dans lesquels se suspendent habituellement les chauves-souris; il résulte du reste de l'accumulation de leurs excréments et de leurs dépouilles. En l'examinant au microscope, on y distingue des poils, des fragments de pattes d'insectes, des débris de carapaces et d'élytres, en un mot les résidus de la digestion des animaux dont la chauve-souris fait sa proie. Par évaporation à l'air libre, ce guano perd environ moitié de son poids, et quand on le chauffe au-dessus de 80°, il dégage d'abondantes vapeurs d'ammoniaque.

L'analyse d'un guano semblable venant d'une grotte des Petits-Andelys a donné à M. Hervé-Mangon :

(1) *Berg. Hütten. Zeit.*; 1860, 157.
(2) *Jahrb. v. Leonhard*, 1860, 478.
(3) *De l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre*, 80.
(4) *Mémoires de la société d'émulation du Doubs* (3e s.), 1858, III, 171. — *Revue des sociétés savantes*, 1861.

Matières volatiles.	Eau perdue à 105°	12,66
	Matières organiques (non compris l'azote)	66,14
	Azote	9,03
Cendres.	Phosphate de soude et sels alcalins	1,83
	Silice et sable siliceux très-fin	4,97
	Chaux	2,74
	Magnésie	0,02
	Acide phosphorique	2,39
	Acide sulfurique	0,17
		99,95

Le guano de chauve-souris constitue un engrais très-riche et qui peut être utilement employé en agriculture; mais son exploitation est assez difficile, et bien qu'il soit assez répandu, il ne se trouve généralement qu'en petite quantité. Il a d'ailleurs été signalé dans plusieurs cavernes de la Franche-Comté, notamment à Baume, à Gigny et à Revigny, dans les Pyrénées, dans les Alpes, ainsi que sur divers points de la France et de l'Algérie. A Sassari dans l'île de Sardaigne, on en exploite même qui rivalise avec le véritable guano du Pérou.

Asphalte. Caucase. M. Hermann (1), qui a fait l'essai de l'asphalte de Tchetchnia au Caucase, a constaté qu'il renferme : 39,80 d'asphaltène soluble dans l'éther; 5,00 de résine soluble dans l'alcool; 35,20 de substances terreuses. Soumis à l'action de la chaleur, il ne fond pas et laisse un résidu charbonneux de 12,8.

Benthiem. M. A. Stromeyer (2) a examiné un asphalte de Bentheim. Son poids spécifique est de 1,07; sa dureté de 2,5. Une lessive bouillante de potasse n'en dissout aucune partie, non plus que l'alcool; mais l'éther lui enlève une petite proportion d'une résine jaunâtre. L'essence de térébenthine en dissout au contraire une grande proportion. Le sulfure de carbone donne une liqueur brun foncé et enlève 23,5 p. 100 de l'asphalte; par l'évaporation, ce menstrue laisse une résine noire brillante qui se ramollit par la chaleur, mais sans se fondre. Le résidu insoluble est noir, brillant, et conserve la forme de l'asphalte. La partie soluble et la partie insoluble analysées par l'oxyde de cuivre ont donné à M. Stromeyer la même teneur en carbone que le minéral tout entier. Cet asphalte ne fond pas lorsqu'il est chauffé à une température inférieure à celle à

(1) *Société chimique de Paris*, avril 1859, 232.
(2) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 189. — *Die Sogenannte Bentheimer Kohle.* — X. *Jahresber. der Naturhist. Gesellsch. zu Hannover*, 1860, 338.

laquelle se dégagent ses produits combustibles; toutefois il devient plastique comme de la cire. A la distillation sèche il donne 34 p. 100 d'une huile brun clair et transparente, ayant une densité de 0,83 qui brûle avec une flamme très-brillante.

C	H	Az	O	Cendres.	Somme.
86,69	9,30	0,66	2,82	0,53	100,00

Le minéral de Bentheim doit être considéré comme une variété d'asphalte qui est infusible. Son gisement, qui a été étudié par M. Credner, est remarquable. On le trouve au sud des deux chaînes de collines des environs de Bentheim. A leur base sont les couches de l'argile wéaldienne et un grès sans fossiles, probablement le grès de Hastings; puis une couche d'argile; aux environs de Gildehaus on trouve d'ailleurs un grès avec crioceras; enfin on rencontre une argile avec les fossiles caractéristiques du Hils (néocomien). Les recherches de combustibles faites récemment ont montré que l'asphalte de Bentheim forme un filon ayant une puissance de $0^m,50$ à $0^m,65$ qui empâte quelquefois des fragments de la roche encaissante et qui traverse le schiste argileux appartenant à la formation du Hils.

Naphte. Gallicie.

M. Hasse (1) a examiné l'huile de naphte qui se recueille près de Limanow en Gallicie. Son poids spécifique est seulement 0,875. Elle suinte le long de galeries dont la profondeur est inférieure à 25 mètres; par une décantation on la sépare ensuite des matières auxquelles elle est mélangée. La roche dans laquelle sont percées les galeries d'exploitation est noire, bitumineuse et imprégnée d'huile de naphte; mais en moyenne elle n'en contient guère que 2. p. 100.

Terre végétale. Irlande.

M. W. K. Sullivan (2) a publié des recherches sur la formation et sur la composition chimique des terres végétales. Ces recherches avaient pour but l'établissement des cartes agronomiques que sir Robert Kane se propose d'exécuter pour les divers comtés de l'Irlande. De nombreux échantillons du sol et du sous-sol ont d'abord été recueillis, puis décrits par les employés du Geological Survey sous la direction de MM. Oldham et J. B. Jukes. Les analyses de ces échantillons

(1) *Société chimique de Paris*, juillet 1859, 327. — *Dingler polytechnisches Journal*, CLI, 445.

(2) *The Atlantis, or register of literature and science of the catholic university of Ireland*, 1860, n° V, 181.

ont réclamé plusieurs années : elles ont été faites avec beaucoup de soin par MM. W. Sullivan et Gages dans le laboratoire du Muséum de l'Industrie Irlandaise. Le sol et le sous-sol de 126 localités différentes ont été successivement examinés. Les résultats obtenus sont résumés dans des tableaux qui font connaître le caractère lithologique des roches composant le district dans lequel a été pris l'échantillon, celui des débris pierreux trouvés dans le sol et dans le sous-sol, la proportion de matière ténue et grossière qu'ils renferment et en outre celle du carbonate de chaux.

Castellon.

M. de Villanova y Piera a analysé plusieurs terres végétales de la province de Castellon.

LOCALITÉS	TERRAIN duquel les terres proviennent.	Sable.	Carbonate de chaux.	Argile.	Eau.	Somme.
Benicosim	Triasique.	60,8	26,2	9,0	4,0	100
Atmedixar (Espadan)	*Id.*	63,0	2,4	30,6	4,0	100
Villavieja.	*Id.*	86,0	2,2	7,8	4,0	100
Segorbe.	Jurassique.	27,0	41,0	26,0	6,0	100
Jerica	*Id.*	18,9	38,4	36,7	6,0	100
Baraccas.	Jurassique et triasique.	53,3	21,7	22,4	2,6	100
Albocacer.	Crétacé.	30,0	56,0	10,0	4,0	100
Alcala de Chivert.	*Id.*	60,0	20,4	15,6	4,0	100
Id., *id.* (Calvario).	*Id.*	60,0	56,6	33,0	5,0	100
Benasal	*Id.*	57,0	24,0	15,0	4,0	100
Castellon (Pinor).	Terrain de transport formé de terrain triasique, crétacé et tertiaire	52,0	15,0	29,0	4,0	100
Id. (Tosquella).	*Id.*	23,0	49,0	24,0	4,0	100
Id. (Mercader).	*Id.*	39,0	26,5	30,5	4,0	100
Segorbe.	Terrain de transport formé de terrain jurassique, triasique et tertiaire	15,7	40,4	34,1	9,0	100
Segorbe (Canova).	Terrain de transport formé de terrain jurassique, triasique et de roches éruptives	30,5	38,4	26,1	5,0	100

Huelva.

MM. V Sevoz et J. Breuilhs (2) ont également fait des essais sur la composition de quelques marnes sableuses qui forment la terre végétale aux environs de Huelva, en Andalousie.

(1) *Memoria geognostico-agricole sobre la provincia de Castellon.*

(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1860, VI, 37.

Quartz.	Argile.	Calcaire.	Sels solubles.	Humus.	Eau.	Somme.
50,00	20,00	19,00	0,80	2,00	8,00	99,80
61,40	18,00	11,00	0,40	2,60	6,00	99,40
74,00	3,00	3,00	3,40	4,00	10,00	97,40
55,00	19,00	15,00	0,60	4,00	6,00	99,60

Les sels solubles sont des chlorures ainsi que des sulfates de soude, de potasse, de magnésie, et il y a en outre des iodures dont la présence s'explique aisément, puisque ces terres végétales sont au bord de la mer.

Dombes et Bresse.

Dans une étude des sols de la Bresse et surtout de la Dombes, M. F. Pouriau (1) a examiné successivement leurs propriétés géologiques, chimiques et agronomiques. Après avoir mentionné d'une manière générale comment les roches stratifiées ou non stratifiées se décomposent, il indique comment les terres arables naissent de leurs débris. Suivant leur origine, les sols sont partagés en deux classes, ceux qui se sont formés sur place par la destruction de la roche sous-jacente et ceux qui résultent de matériaux apportés par les eaux. A ces derniers appartiennent les alluvions proprement dites, les créments ou dépôts alluviens du Rhône, les polders de la Hollande, les alluvions de la Bresse et de la Dombes.

M. Pouriau fait successivement l'étude géologique, chimique et agronomique des sols avoisinant l'École d'agriculture de la Saulsaie. Cette école se trouve près de la limite méridionale de la Dombes sur un plateau légèrement mamelonné ayant une altitude d'environ 290 mètres. La terre végétale est formée par un dépôt diluvien très-ténu qui est brun jaunâtre ou blanchâtre lorsqu'il n'est pas mélangé d'oxyde de fer ; dans ce dernier cas on lui donne le nom de terrain blanc gouttelux de la Bresse. Quand il est soumis au lavage, il se délaye presque entièrement, et souvent le résidu sableux laissé par l'eau n'est que de 10 p. 100. Il contient des petits graviers d'oxyde de fer nommé *têtes de clou* par les habitants du pays. Son épaisseur varie de $0^m,30$ à 3 mètres.

(1) *Revue des sociétés savantes*, 1861. — *Annales de la société impériale d'agriculture de Lyon*, II, 1858, 77. — Voir aussi sur les terres végétales de la Bresse, du Bugey et des environs de Lyon les recherches de Sauvanau et Thiollière. (Drian. *Minéralogie et Pétralagie*, 498.)

Les terres provenant des étangs desséchés sont noirâtres, parce qu'elles contiennent beaucoup de détritus organiques. Elles sont encore plus ténues que le dépôt diluvien précédent, et le résidu de leur lavage est un sable dont la proportion s'élève à peine à 3 p. 100.

Pénétrant plus avant dans le sol, on trouve quelquefois une argile bleuâtre, assez irrégulière, puis une couche ferrugineuse imperméable atteignant une épaisseur de 10 mètres dans la Dombes. Cette dernière couche, qui est très-importante, empâte des cailloux roulés et présente l'aspect d'un béton très-résistant qui est souvent tout à fait imperméable. Les cailloux qu'elle enveloppe sont presque exclusivement des quartzites. Au-dessous de cette couche on rencontre successivement une couche argileuse noirâtre de 7 mètres, une nouvelle couche ferrugineuse à quartzites qui est également imperméable et qui a $2^m,50$, une couche argileuse jaunâtre de $0^m,50$, et enfin une couche à graviers qui est perméable.

M. Pouriau s'occupe ensuite de l'étude physique et chimique des sols. Par un lavage mécanique il détermine la proportion des matières ténues, du sable et du gravier ; il compare ensuite l'hygroscopicité de la terre tamisée en cherchant la quantité d'eau qu'elle peut absorber. Pour les terres qu'il a expérimentées, la proportion d'eau imbibant 100 parties était comprise entre 35 à 76 p. 100 (p. 425). Des essais chimiques de ces terres lui ont montré qu'elles sont silicéo-argileuses comme nous le verrons plus loin (p. 435). La Dombes est l'une des contrées de la France dans lesquelles il y a le plus d'améliorations agricoles à réaliser ; toute étude ayant pour but de faire connaître la géologie et la composition chimique de son sol, ainsi que ses propriétés physiques et agronomiques, présente donc de l'importance.

Eau.

Un grand nombre d'eaux douces, salées et minérales ont été analysées en 1860, et l'on trouvera dans le compte rendu de MM. Hermann Kopp et H. Will un résumé très-complet des résultats qui ont été obtenus. (*Jahresbericht*, 1860, 830.)

Roches salines. Sel gemme. Strassfurt.

Le sel gemme de Strassfurt, près de Magdebourg, qui appartient au trias, est blanc ou gris blanchâtre, rarement bleu, cristallisé et à grain fin ; il alterne avec des couches très-nombreuses de gypse. Quelques substances minérales nouvelles lui sont associées ; on peut citer d'après le Dr E. Reichardt et

M. Tasche (1) la Martinsite, la strassfurtite qui est très-voisine de la boracite, $2(3MgO, 4BoO^3) + MgCl, HO$, la carnallite $KCl + 2MgCl + 12HO$, la tachhydrite $CaCl + 2MgCl + 12HO$.

Il contient en outre des matières organiques et bitumineuses qui, en se décomposant, donnent un mélange de gaz des marais et d'hydrogène libre; mais le sel décrépitant, comme celui de Wieliczka, se rencontre plus rarement dans le sel pur. Enfin l'examen des eaux mères a montré qu'elles renferment 1/2 p. 100 de bromure de magnésium, tandis qu'on n'y a pas trouvé d'iode ni d'acide borique.

Soude sulfatée.

M. le Dr Reichardt (2) avait nommé kieserite un sel de soude trouvé à Strassfurt et regardé comme nouveau; mais une analyse de ce sel faite par M. Bernouilli a montré qu'il a la composition suivante:

MgO	SO^3	HO	Somme.
29,3	57,3	13,4	100

La formule qui lui correspond est $MgO, SO^3 + HO$; c'est celle qui est donnée dans le *Manuel de minéralogie chimique* de M. Rammelsberg pour la soude sulfatée (bittersalz) de Strassfurt. La substance est d'ailleurs blanche, transparente, et devient opaque dans sa partie extérieure; elle se dissout difficilement dans l'eau. Elle forme de petites veines ayant environ 7 pouces de puissance, et dans le gisement précédent, elle accompagne la carnallite et le sel marin.

Glaubérite.

M. Pisani (3) a fait l'analyse de la substance rouge, à éclat un peu résineux qui est associée à l'anhydrite blanche rosée dans les marnes irisées salifères de Varangéville dans la Meurthe.

NaO, SO^3	CaO, SO^3	Argile rouge.	Somme.
50,50	48,79	0,40	99,69

La formule qui représente cette substance est

$$NaO, SO^3 + CaO, SO^3;$$

par conséquent c'est une glaubérite.

(1) *Bilder auf der Reise zur Naturforscher Versammlung in Königsberg*, 1860.
(2) *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1860. XII, 366.
(3) Communication de M. Pisani.

Soude nitratée.

M. L. Krafft (1) a constaté que la soude nitratée brute du Pérou renferme de l'iode. En la lessivant à froid par des eaux saturées de ce sel, on pourrait retirer $0^{kr},6$ d'iode par litre de lessive, ce qui est un rendement bien supérieur à celui des soudes de warech.

Kéramohalite.

M. Barth (2) a analysé un sulfate hydraté d'alumine, nommé kéramohalite, qui se dépose actuellement à l'état fibreux sur la paroi d'un micaschiste de Nikolsdorf dans le Tyrol; il contiendrait:

AlO^3	SO^3	HO	Somme.
15,8	36,0	48,4	101,11

Roches calcaires.

Chaux phosphatée. Logrosan.

Une notice sur la chaux phosphatée de Logrosan a été publiée par MM. D. Ph. Naranjo y Garzo et Lino Peñuelas (3). Cette chaux phosphatée est intercalée dans un schiste argileux; elle forme un gîte puissant qui se continue dans la profondeur et qui a été observé sur plus d'un kilomètre 1/2 de longueur. On trouve à une petite distance un schiste argileux mâclifère qui est lui-même adossé à un pointement de granite et de porphyre euritique. La distance du granite à la chaux phosphatée n'est guère que de 600 mètres.

Calcaire. Brandebourg.

M. Friederici (4) a signalé des concrétions calcaires qui se trouvent au voisinage de Brandebourg en Prusse et qui sont tellement friables qu'elles se sont nécessairement formées en place. Il en existe aussi de semblables sur les bords de l'Alle, et elles sont dans une couche de sable. Ces concrétions calcaires sont souvent traversées par des cavités tubulaires dont les parois sont tapissées par des cristaux de chaux carbonatée. D'après M. Tasche, elles se produisent sous la neige; elles résultent de ce que l'eau provenant de sa fusion contient assez d'acide carbonique pour dissoudre à l'état de bicarbonate la chaux des roches à travers lesquelles elle s'infiltre. L'acide carbonique serait d'ailleurs fourni, soit par l'atmosphère, soit par la décomposition des plantes et des animaux.

Marbre griotte. Caunes.

M. Ch Mène (5) a fait une analyse du calschiste compacte,

(1) *Société chimique de Paris*, 1860, II. — *Répertoire de chimie appliquée*, 135.
(2) *Berg und Kuttenmamnische Zeitung*, 1860, 189.
(3) *Revista minera*, XI, 242. 15 mai 1860.
(4) Hans Tasche. *Bilder auf der Reise zur Naturforscher Versammlung in Königsberg in Herbst.* 1860, LI.
(5) *Instit.*, 11 juillet 1860; 228.

ayant une belle couleur rouge qui s'exploite à Caunes et qui donne le marbre griotte (1). Lorsqu'on le traite par un acide, il laisse une sorte de réseau schisteux dans les mailles duquel se trouvait le calcaire. Il contient fréquemment des orthocères ainsi que des spirifères.

CaO	Fe^2O^3	CO^2	SiO^3	Al^2O^3	MgO	HO	Somme.
43,8	7,0	34,2	5,7	1,0	3,3	4,5	99,5

La partie soluble dans l'acide s'élève à 85 p. 100. La partie insoluble serait un schiste peu alumineux et très-magnésien. L'essai d'un calschiste dévonien qui est également employée comme marbre et qui s'exploite à Rüss dans les Vosges, a au contraire donné à M. Delesse un résidu schisteux contenant plus d'alumine et beaucoup moins de magnésie; il renfermait en outre un peu d'alcalis.

Calcaire magnésien. Avane.

M. S. de Luca (2) a analysé le calcaire nommé ridolfite qui se trouve à Avane près de Pise. Sa couleur est gris foncé. Il est compacte et présente un éclat gras. D = 2,777. Le résidu argileux de l'attaque dans l'acide conserve la même forme et laisse une trace grise sur le papier, laquelle est due à une matière graphiteuse qui le colore en noir.

CaO	MgO	CO^2	Argilite.	HO	Matières bitumineuses.	Sulfure et oxyde de fer.	Somme.
27,86	9,15	31,78	25,95	1,85	0,62	1,94	99,15

Ce calcaire est donc magnésien et mélangé à un quart de son poids d'argilite; un nom spécial n'est pas nécessaire pour le désigner.

Calcaires et Dolomies.

Parmi les analyses des roches calcaires, (3) mentionnons encore celles de la craie de Westphalie par M. Von der Marck; celles de la mine Rhenania près de Lugau en Saxe par M. A. Knop; celles des couches du lias et du Jura de Franconie par M. P. Reinsch; celles des calcaires de Leitha et du comitat Barany, par M. J. Moser, ainsi que l'analyse d'une dolomie de Korhàdi dans l'Inde centrale par M. S. Haughton.

Marne glauconieuse. New-Jersey.

La marne glauconieuse du New-Jersey est employée avec grand avantage dans l'agriculture. L'examen chimique de cette

(1) Delesse. *Rapport sur les matériaux de construction de l'Exposition universelle*, 121.
(2) *Comp. rend.*, 1859, LXIX, 358.
(3) *Jahresb. v. Kopp*, 1859, 883.

marne, fait par MM. S. W. Johnson et C. H. Cook (1), a montré qu'elle contient du sable, de l'argile, du calcaire, de la glauconie et une proportion variable d'acide phosphorique qui dans certains échantillons peut s'élever jusqu'à près de 7 p. 100.

Hislopite. Inde.

M. Samuel Haughton (2) a analysé un calcaire vert de Tákli dans l'Inde: ce calcaire a la forme cristalline de la chaux carbonatée et une belle couleur verte. D = 2,645. Il laisse dans l'acide un squelette vert pesant 6,54. L'analyse de ce dernier a donné:

SiO^3	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	HO et perte.	Somme.
54,59	4,74	22,84	0,94	4,90	11,99	100

M. S. Haughton admet que c'est une glauconie et il attribue à ce minéral la formule $\{3RO,Al^2O^3\},3SiO^3+3HO$. Il considère en outre l'association de ces deux minéraux comme une roche à laquelle il donne, en l'honneur de M. Hislop qui l'a rapportée de l'Inde, le nom de hislopite. La hislopite est donc simplement une chaux carbonatée glauconieuse.

Roches argileuses. Argile.

M. P. Beauvallet (3) a signalé le vanadium dans l'argile de Gentilly qui est employée à faire de la poterie Depuis M. A. Terreil l'a également reconnu dans l'argile plastique de Dreux et de Forges-les-Eaux près de Rouen. M. H. Deville l'a même trouvé dans divers minéraux cristallisés, notamment dans le rutile.

Argile siliceuse. Dombes et Bresse.

M. Pouriau (4) a fait de nombreux essais des argiles qui forment le sol de la Bresse et surtout de la Dombes. La terre a d'abord été tamisée pour la débarrasser du sable et du gravier qui l'accompagnent; le poids restant sur le tamis figure dans la 1re colonne. On chauffait ensuite à 300° la terre tamisée afin d'avoir par différence l'eau et les matières organiques. Il est à craindre qu'à cette température toute l'eau n'ait pas été dégagée; néanmoins les résultats qui ont été obtenus sont inscrits à la 2me colonne.

(1) *Société chimique de Paris*, 1860, II; *répertoire de chimie appliquée*, 33.
(2) *Philosophical Magazine*, 1859, XVII, 16.
(3) *Instit.*, 25 juillet 1860, 246.
(4) *Annales de la Société d'agriculture de Lyon*, 1858, II, 77.

I. Terre très-ténue avec un peu de sable ferrugineux ; de l'Étang-Moron.
II. Terre très-caillouteuse, résultant du mélange avec le terrain de transport qui couvre le plateau de la Dombes; du Pontet.
III. Terre formée par le diluvium rouge à gros éléments avec gravier et sable provenant de roches feldspathiques, de Saint-Clair.
IV. Terre très-ténue avec grains d'oxyde de fer dits têtes de clous ; de l'Etang-Villars.
V. Terre formée d'un mélange de lehm et gravier; de Fontaines, près Sathonay.
VI. Terre cultivée en pré, peu perméable; de Sainte-Croix.
VII. Terre jaunâtre très-ténue; de Laboisse.
VIII. Terre déposée au fond d'un ancien étang; de l'Ecole de la Saulsaie.

	MATIÈRES passant au tamis.	PERTE à 300°	SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO, CO^2	MgO CO^2	Somme.
I.	99	1,84	88,50	5,46	4,90	0,40	0,40	99,66
II.	49	2,46	85,56	7,02	5,38	1,84	0,46	100,26
III.	30	3,76	81,38	2,46	6,84	6,50	2,50	99,68
IV.	97	6,34	79,20	11,52	7,82	0,40	0,26	99,20
V.	66	2,16	76,10	7,62	5,95	8,60	0,70	98,97
VI.	97	12,00	74,38	10,68	12,28	1,18	1,20	99,72
VII.	99	4,83	70,35	14,29	11,99	1,00	1,72	99,35
VIII.	98	5,81	67,86	18,72	11,86	0,48	1,06	99,98

On voit par ces analyses que les terres de la Dombes sont éminemment silicéo-argileuses. Quand elles sont fines, leur silice descend rarement au-dessous de 80 p. 100 et elle s'élève jusqu'à 88 pour la terre desséchée à 100°. Dans les sols qui en renferment moins, la composition primitive paraît avoir été modifiée par des dépôts modernes opérés par les eaux; c'est ce qui a lieu notamment pour les terres des prés et des étangs dans lesquelles il y a eu concentration d'argile et pour les terres caillouteuses qui sont mélangées avec des débris calcaires. L'abondance dans le diluvium de la Dombes de quartzites et de roches quartzeuses explique d'ailleurs pourquoi ces terres renferment une grande proportion de silice. C'est seulement par exception que les terres de la Dombes renferment plus de 10 p. 100 d'alumine; quand elles sont fines, elles en ont environ 8 p. 100 et 6 p. 100 d'oxyde de fer; quand elles sont à gros grains, elles ont au plus 7 p. 100 d'alumine et jusqu'à 8 p. 100 d'oxyde de fer.

Relativement à la composition des terres silicéo-argileuses qui forment le sol arable de la Dombes, M. Pouriau trouve des carbonates au-dessous de l'altitude de 260 mètres, et les terres

constituées par le diluvium rougeâtre à gros grains sont toutes calcaires. Dans les terres pauvres en carbonate de chaux, il y a d'ailleurs moins de chaux que de magnésie.

Schiste. Caunes.

M. Ch. Mène (1) a analysé un schiste verdâtre se divisant en fragments pseudo-réguliers, qui est associé au marbre griotte dans la Montagne-Noire.

SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO,NaO	HO	CO^2	Somme.
53,8	1,5	2,0	2,0	34,7	0,8	4,5	1,2	100,5

Ce schiste semblerait contenir une très-grande proportion de magnésie.

Schiste marno-bitumineux. Belley.

M. Ch. Mène (2) a encore analysé les schistes marno-bitumineux du terrain jurassique de Belley dans l'Ain : I schiste riche en matières bitumineuses; II schiste pauvre.

	CaO	CO^2	MgO,CO^2	SiO^3	Al^2O^3	SO^3,CaO	SO^3,FeO	Matières bitumineuses.	HO	Somme.
I.	55,0	10,5	1,5	4,5	1,5	3,0	2,0	15,5	5,0	98,5
II.	58,5	24,7	0,8	1,5		0,5	1,5	9,0	3,0	98,0

Ce schiste marno-bitumeux est essentiellement formé de carbonate de chaux mélangé à des matières bitumineuses et à un peu d'argile. Lorsqu'on l'attaque par l'acide chlorhydrique, la chaux correspondante au carbonate est complétement dissoute; mais il reste encore une proportion très-notable de chaux qui est combinée avec la matière bitumineuse et qui résiste même à l'acide chaud; c'est seulement après destruction de la matière bitumineuse par le grillage qu'elle peut être dissoute par l'acide. Le bitume manifeste d'ailleurs une affinité toute spéciale même pour le carbonate de chaux.

A la distillation, le schiste bitumineux de Belley donne une huile jaune marquant 95° du densimètre. Quand il a été grillé, il est employé comme amendement dans la Bresse et dans la Dombes.

Tuf argileux. (Thonstein.) Erzgebirge.

M. A. Knop (3) a étudié la composition du tuf argileux, (thonstein) du bassin de l'Erzgebirge, et il en distingue trois variétés: I pélitique, II psammitique, III pséphitique.

(1) *Instit.*, 11 juillet 1860, 228.
(2) *Comp. rend.*, 1860, L, 415.
(3) *Beiträge zur Kentniss der Steinkohlen-Formation und des Rothliegenden in Erzgebirgischen Bassin.*

I. Le tuf pélitique (Naumann) de Niederrabenstein a été spécialement examiné. Sa couleur est blanche tirant un peu sur le jaune isabelle et certaines variétés sont même rouge brun. Il paraît homogène. Examiné au microscope sous un grossissement de plus de 300, il présente une multitude de petites écailles cristallises et incolores. Dans l'eau, il devient plastique comme de l'argile. La matière desséchée à 100° a été attaquée à chaud par de l'acide sulfurique concentré.

SiO^3	Al^2O^3*	CaO	MgO	HO	Résidu insoluble.	Somme.
36,02	42,03	0,15	traces.	13,52	7,91	90,63

* Avec un peu de fer.

Le résidu insoluble étant examiné à la lumière polarisée a montré des grains vitreux, cristallins, biréfringents qui paraissent être du quartz. Des grains opaques ressemblant à la pâte de certains porphyres quartzifères leur étaient d'ailleurs mélangés. Le tuf pélitique de Niederrabenstein paraît formé en grande partie par un silicate hydraté d'alumine ayant la composition de la pholérite de M. J. Guillemin. Il se décompose en 91 p. 100 de pholérite, 9 de quartz et de détritus porphyriques avec un peu d'hydroxyde de fer.

II. Le tuf psammitique consiste surtout en quartz qui est très-abondant et mélangé avec du sable porphyrique, du mica à base de potasse et avec une substance minérale que M. Knop a nommée pinitoïde. Une variété de ce tuf qui provenait de Zeisigwalde près de Chemnitz a été analysée par M. Knop. Sa couleur était gris verdâtre et sa densité de 2,625. Attaqué par l'acide sulfurique, il a donné :

SiO^3	Al^2O^3	FeO	MnO	KO	NaO	MgO	HO	Résidu insoluble.	Somme.
13,18	7,36	0,99	traces.	1,65	0,16	0,27	2,12	72,69	98,42

La partie de ce tuf qui se laisse attaquer présente à peu près la composition de la pinitoïde, de laquelle elle diffère seulement par un peu plus d'eau. Quant au résidu insoluble, il contient :

SiO^3	Al^2O^3	KO	Somme.
92,94	5,48	2,69	101,11

Son examen microscopique montre d'ailleurs qu'il est formé de quartz, de mica et de parcelles feldspathiques.

III. Le tuf pséphitique de l'Erzgebirge contient du quartz enveloppant de la chlorite et du mica ; il renferme aussi de la

lydienne ayant une couleur noirâtre, du porphyre qui peut être décomposé, et même des cailloux appartenant à une roche dure et compacte de couleur gris verdâtre foncé. D'après M. Knop, à Klitzsmühle près d'Oberwiesa, la pinitoïde s'observerait dans un conglomérat pséphitique ; elle aurait la forme de l'orthose et elle résulterait d'une pseudomorphose de ce minéral. Son attaque par l'acide sulfurique a donné un résidu de 33,75 p. 100 qui consistait en feldspath et en mica, tandis que la partie soluble avait la composition suivante :

SiO^3	Al^2O^3	FeO	KO	NaO	MgO	HO	Somme.
51,00	28,66	3,04	9,83	?	0,70	6,77	100,00

Cette composition est à peu près celle de la pinitoïde.

Grunstein, Schalstein, Mandelstein.

Le Grunstein a été décrit très-complétement par M. de Dechen (1), qui en distingue quatre variétés pouvant passer l'une à l'autre : le phorphyre labradorique, le schalstein, le mandelstein, le schalstein porphyrique.

Le porphyre labradorique est formé par une pâte verte contenant des cristaux de labrador et d'augite et accidentellement de la pyrite de fer, du fer oxydulé, de la chaux carbonatée. Il est quelquefois traversé par des veines de chaux carbonatée, d'épidote, d'asbeste et même de quartz prase. A Gevelinghausen, l'oligoclase remplace le labrador, comme cela résulte d'une analyse de M. Rammelsberg.

Le schalstein ou spilite des géologues français consiste en une pâte jaunâtre, grise ou verte, ayant une structure schisteuse, dans laquelle il y a des noyaux et des veines de chaux carbonatée blanche ou rouge. Quand la roche se charge de cristaux de feldspath, elle passe au schalstein porphyrique.

Le mandelstein ou spilite amygdaloïde est formé par une pâte compacte plus ou moins schisteuse, de couleur jaunâtre, vert foncé, rouge foncé ou brun noirâtre. Cette pâte renferme des noyaux de chaux carbonatée rouge ou verdâtre qui sont d'une grosseur très-inégale et en proportion très-variable. Quand les noyaux calcaires sont détruits par l'action de l'atmosphère, il en résulte une roche celluleuse nommée *Blatterstein*.

Ces roches viennent d'être étudiées de nouveau par M. R.

(1) Karsten und von Dechen. *Archiv.*, XIX.

Stein(1), qui a publié une carte géologique des environs de Brilon où elles sont bien développées. D'abord, les variétés de grunstein qui sont schisteuses comme le schalstein et le mandelstein, présentent généralement une grande ressemblance pétrographique avec les roches sédimentaires qui les touchent immédiatement; elles ont le même grain et le même mode de division et de schistosité; en un mot, dans un grand nombre de points, elles montrent un passage insensible à ces roches. En outre, il importe d'observer que le grunstein porphyrique est toujours enveloppé par le grunstein schisteux qui ménage son passage aux roches sédimentaires. Le grunstein suit d'ailleurs les contours des roches sédimentaires; il sépare le schiste de la Lenne du calcaire à Stringocéphales; cependant à Steinberg il est à la limite du calcaire à Stringocéphales et du *Flinz*. Enfin il paraît avoir exercé peu d'action sur le relief et sur la formation des montagnes.

L'origine du schalstein a été très-controversée. D'après M. Beyrich, le schalstein du Nassau serait métamorphique et, de même que le minerai de fer qui lui est associé, il résulterait de l'action du porphyre labradorique sur les roches sédimentaires. Haussmann pensait aussi que, dans le Harz, le schalstein avait été produit par un dégagement de gaz ayant métamorphosé les roches sédimentaires au moment où le grunstein avait lui-même redressé la grauwake. Les frères Sandberger considèrent, avec MM. Murchison et Sedgwick, le grunstein comme le produit d'éruptions sous-marines qui étaient contemporaines du terrain devonien; les cellules résulteraient alors du dégagement des gaz et leur remplissage par de la chaux carbonatée serait attribué à une décomposition du phorphyre labradorique. M. G. Bischof n'admet aucune origine éruptive pour le porphyre labradorique ou pour le grunstein stratifié; il pense qu'ils se sont déposés lentement au fond de la mer, comme les autres roches sédimentaires, et que le groupement de ces sédiments en une masse cristalline a eu lieu, soit au moment de leur dépôt, soit par suite d'un métamorphisme postérieur. M. Stein remarque cependant que le grunstein porphyrique offre tous les caractères des roches éruptives, et, en particulier, il est prismatique comme le ba-

(1) *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1860; XII.

salte. C'est ce qui s'observe très-bien près de Messinghausen, où un sphéroïde ayant plus de 15 mètres de diamètre présente des colonnes qui rayonnent vers son centre. On admet généralement que le grunstein porphyrique a fait éruption pendant le terrain devonien; quant au schalstein et au mandelstein, M. Stein pense qu'ils résulteraient de l'action du porphyre sur les roches sédimentaires. La théorie du métamorphisme explique de la manière la plus satisfaisante l'origine de ces roches bizarres; nous remarquerons seulement qu'elles peuvent se former par le métamorphisme général et indépendamment de toute action de contact; c'est ce qui paraît résulter de l'étude des spilites dans diverses localités et notamment dans le pays de Nassau (1).

Serpentine. Sala.

C. W. Hultmark (2) a analysé la serpentine de Sala en Suède ainsi que le chrysotil qui y forme des veines. Ses résultats sont d'accord avec ceux obtenus précédemment par M. Delesse pour la serpentine des Vosges, et ils montrent que le chrysotil est une serpentine fibreuse. (*Annales des mines*, 1850, XVIII, 528).

Nouvelle-Zelande.

M. Hochstetter (3) a signalé dans les montagnes Dun (Nouvelle-Zélande) une serpentine qui présente un filon ou plutôt une couche ayant plusieurs milles de puissance et qui se laisse suivre en ligne droite, dans la direction nord-est, sur une longueur de 80 milles. Cette serpentine est parallèle aux schistes dans lesquels elle est intercalée. Indépendamment du fer chromé, elle contient quelquefois du cuivre natif, du cuivre oxydulé, ainsi que de la pyrite de cuivre.

Toscane.

M. W. P. Jerwis (4) a étudié la serpentine sans diallage de la Toscane qui est désignée sous le nom de *Gabbro verde*. Elle est quelquefois accompagnée de stéatite blanche. Quand elle se décompose, elle donne une sorte d'argile stéatiteuse. Elle doit sa couleur à du fer, à du manganèse et à du chrome qui s'élève même jusqu'à la proportion de 2 p. 100.

Près de son contact avec le schiste rouge métamorphosé ou avec le *Gabbro rosso*, la serpentine est généralement accompagnée de minerais de cuivre. Plusieurs minéraux se sont dé-

(1) Delesse. *Études sur le métamorphisme des roches*, 1861, in-4; 65 et 66.
(2) *Jahresb. von H. Kopp und H. Will*, 1859, 800.
(3) *N. Jahr. von Leonh.*, 1860, 480.
(4) *Geolog. Society*, XVI, 480.

veloppés près de ce contact, notamment la miémite et des zéolithes; tandis que les zéolithes sont généralement exemptes de magnésie, il est très-remarquable qu'ici elles en contiennent toutes, comme le fait bien voir le tableau suivant :

		Magnésie.
Savite	$3(MgO, NaO)2SiO^3 + Al^2O^3SiO^3 + 2HO$	13,50
Schneiderite	$3(MgO, CaO)2SiO^3 + 3Al^2O^3, 2SiO^3 + 3HO$	11,03
Picranalcime	$3MgO, 2SiO^3 + 3Al^2O^3, 2SiO^3 + 6HO$	10,25
Picrothomsonite	$2[3(MgO, CaO)SiO^3] + 5Al^2O^3, SiO^3 + 9HO$	6,27
Portite	$3(CaO, MgO)2SiO^3 + 4(Al^2O^3, 2SiO^3) + 7HO$	4,87
Sloanite	$3(CaO, MgO)2SiO^3 + 5Al^2O^3, SiO^3 + 9HO$	2,67
Humboldtite (Datholite)	$2[3CaO, 4SiO^3 + 3CaO, BO^3] + 4MgO + 2HO$	2,12
Caporcianite	$3(MgO, CaO)2SiO^3 + 3Al^2O^3, 2SiO^3 + 9HO$	1,11

Observons encore à ce sujet que les silicates qui se forment habituellement dans la serpentine, comme le grenat, le diallage, la chlorite, sont particulièrement riches en magnésie; c'est, en effet, ce que l'analyse a montré pour la serpentine des Vosges (1).

La serpentine de Toscane contient d'ailleurs des veines d'opale, de jaspe, de calcédoine et de quartz, ainsi que des minerais de cuivre variés, notamment le cuivre natif, le cuivre oxydulé, le cuivre gris, la bornite, la pyrite de cuivre, le chrysocolle, la malachite et l'azurite.

Stéatite.

M. C. Lory (2) a signalé une stéatite ayant une couleur vert pâle qui est intercalée dans le gneiss du Valgaudemar, entre Saint-Maurice et Villard-Loubière. Il a trouvé pour sa composition :

SiO^3	MgO	FeO	CaO	HO*	Somme.
57,3	26,2	6,7	3,6	6,1	99,9

* Avec un peu d'acide carbonique.

Cette stéatite présente à peu près la même composition que celle qui est associée à l'euphotide d'Odern dans les Vosges (3). Elle se travaille facilement sur le tour et elle sert aussi à écrire sur l'ardoise.

Dans ces dernières années, la stéatite a d'ailleurs été employée à divers usages industriels qui sont basés sur son infusibilité. On l'utilisait déjà comme pierre réfractaire, particulièrement dans la construction des fours à réverbère. On s'en

(1) Delesse. *Annales des mines* 1850; XVIII, 309.
(2) *Description géologique du Dauphiné*, 1re partie, 107.
(3) Delesse. *Annales des mines*, 1849, XVI, 323.

sert maintenant pour faire des becs de gaz qui ont l'avantage de ne pas s'oxyder et de ne pas se sulfurer comme ceux en métal (1). Percée d'un grand nombre de trous, la stéatite peut tenir lieu de toile métallique. M. Wagner (2) a même conseillé de l'employer dans la fabrication du papier et aussi comme couleur pour remplacer la céruse.

Micaschiste. Mont Rose.

M. Zulkowsky (3) a obtenu pour l'analyse d'un micaschiste du mont Rose :

SiO^3	Al^2O^3	FeO	MgO	NaO	KO	HO	SbS^5	Somme.
82,38	11,85	2,28	1,00	0,38	0,83	0,77	0,19	99,68*

* Ce micaschiste contient aussi des traces de fluor.

Roches feldspathiques. Granite.

M. C. Lory (4) a donné une description du granite, de la protogine ainsi que des schistes cristallins qui forment les Alpes centrales du Dauphiné.

Kaolin.

L'acide phosphorique est, comme l'on sait, très répandu dans la nature et s'observe non-seulement dans les roches stratifiées, mais encore dans les roches non stratifiées. Un essai de M. Knapp (5) a montré que le kaolin de Passau en contient également.

Pétrosilex globuleux.

M. Damour (6) a analysé un pétrosilex globuleux qui a été recueilli par M. Élie de Beaumont au grand Houx dans les Coëvrons. Ce pétrosilex est gris verdâtre, à cassure esquilleuse. Mis dans l'acide nitrique, il fait une faible effervescence et perd environ 1 dixième de son poids. Voici la composition de la roche dégagée de ses parties calcaires :

SiO^3	Al^2O^3	FeO	MgO	CaO	NaO,KO	HO	Somme.
74,48	12,38	4,28	3,05	2,12	1,73	1,61	99,65

Ce pétrosilex est une variété de porphyre qui est imparfaitement cristalline et riche en silice. Des roches semblables s'observent du reste dans les Vosges, en Corse, dans le pays de Galles (7).

(1) *Société chimique de Paris*, mars 1859, 210. Em. Kopp. *Application de la stéatite à la fabrication des becs de gaz.*
(2) *Neues Jahrbuch der Pharmacie*, X, 96.
(3) *Jahresb. v. Kopp*, 1859, 832.
(4) *Description géologique du Dauphiné*, 1re partie, 56, 211.
(5) *Société chimique de Paris*, 1860, II. Répertoire de chimie appliquée, 194.
(6) *Comp. rend.*, 1860, L, 989.
(7) Delesse. *Recherches sur les roches globuleuses* (Mémoires de la Société géologique, 2e s. IV).

Trachyte.

M. Ch. Sainte-Claire Deville (1) a publié les résultats d'un travail sur les roches trachytiques.

Drachenfels.

Le trachyte du Drachenfels a été analysé par M. Rammelsberg (2). D'abord ce trachyte a été débarrassé aussi bien que possible de ses cristaux d'orthose vitreux, puis mis en digestion avec de l'acide chlorhydrique concentré et ensuite avec une dissolution bouillante de soude; le résidu insoluble ou indécomposable s'est alors élevé à 92,95. M. Rammelsberg a constaté d'ailleurs, comme l'avait déjà fait M. Delesse, qu'une dissolution alcaline attaque très-sensiblement le trachyte, et qu'elle en dissout la silice lors même qu'il n'a pas été traité d'abord par un acide (*Bulletin de la Société géologique*, 2e s. XI, 127 : action des alcalis sur les roches). L'analyse a donné les résultats suivants pour la partie attaquable I*a*, pour la partie non attaquable I*b* et pour l'ensemble II :

	SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
I*a*.	1,60	0,53	3,47	0,41	0,03	traces.	traces.	0,70	6,74
I*b*.	63,47	15,60	1,70	2,33	0,64	4,44	4,77	»	92,95
II.	65,07	16,13	5,17	2,74	0,67	4,44	4,77	0,70	99,69

Il est probable que le trachyte de Drachenfels contient de l'oligoclase, indépendamment de l'orthose vitreux. On peut admettre pour sa composition minéralogique 41,8 d'orthose vitreux, 40,5 d'oligoclase; le reste renfermerait de la silice, de l'oxyde de fer et d'autres bases.

Porphyre trachytique. Hongrie.

M. C. v. Hauer (3) a analysé divers porphyres trachytiques de Hongrie : I de la montagne Hradek près Nagy-Mihály; II de Dragomer; III de Kovászo Legy; IV variété cellulense de Talkibánya; V trachyte décomposé de Bikzad dans le comitat de Szathmar. Dans ces analyses, les alcalis ont été estimés par différence :

	SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	MnO	CaO	MgO	Alcalis.	Perte au feu.	Somme.
I.	75,83	15,78	traces	»	2,22	0,99	1,96	3,22	100,00
II.	70,99	15,32	1,72	traces.	3,21	0,54	6,64	1,58	100,00
III.	67,74	11,05	1,01	»	1,84	traces.	4,91	13,45	100,00
IV.	81,93	11,15	traces.	traces.	0,75	traces.	4,16	1,71	100,00
V.	69,56	14,31	4,92	traces.	3,03	0,94	2,96	4,28	100,00

(1) *L'Instit.*, 12 janvier 1859, 10.

(2) *Jahresb. v. Kopp.*, 1859, 830. *Zeitschrift d. deutschen geolog. Gesellsch.*, XI, 434.

(3) *Jahresb. d. K. K. geolog. Reichanstalt*, 1859, 466. — *Jahresb. v. Kopp.*, 1859, 831

Trachydolérite. Vogelsgebirge

Le trachydolérite du Vogelsgebirge a été étudié par M. H. Tasche (1). Sa couleur grise le distingue déjà du basalte. Il présente une pâte feldspathique et zéolithique qui contient de l'augite, de l'hornblende, du fer oxydulé et dans les variétés grennes du péridot. Un échantillon de Londorf analysé par M. Engelbach a donné :

SiO^3	Al^2O^3	FeO	Mn^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	Somme.
56,97	14,28	15,50	0,51	7,95	4,67	1,45	3 67	105,00?

Le trachydolérite est très-répandu dans le Vogelsgebirge; il apparaît surtout quand le basalte a été enlevé et il borde les tufs ou les amygdaloïdes. Quelquefois il prend une couleur rouge qui le fait ressembler à certains grès ou bien il devient celluleux, et alors il est connu sous le nom de *Lungstein* (pierre poumon); dans tout le pays cette dernière variété est très-recherchée pour les constructions.

Rétinite. Écosse.

M. J. Nicol (2) a signalé près d'Oban en Écosse un filon de greenstone qui est bordé par du rétinite. On peut suivre ce filon sur plus d'un quart de mille. Sa largeur est habituellement de $0^m,30$ à 1 mètre, tandis que celle du rétinite varie de 1 à 5 centimètres. Cette dernière roche est vert foncé ou noire, à cassure conchoïde, à structure prismatique; en petits fragments, elle a quelque ressemblance avec l'anthracite. Des faits semblables ont d'ailleurs été observés dans le trapp de l'île Lamlash et ils tiennent visiblement à un métamorphisme qui, près des bords du filon, a été éprouvé par la roche éruptive (3).

Phonolite. Olbrück.

M. Vom Rath (4) a etudié le phonolite d'Olbrück qui se divise en tables épaisses et qui présente une structure porphyrique. Sa pâte est brune et renferme de la haüyne (nosean) gris bleuâtre ainsi que de l'orthose vitreux. Quand on examine cette pâte, au microscope sous un grossissement de cent fois, on y distingue une multitude de petits cristaux qui donnent, tantôt des prismes allongés, tantôt des sections hexagonales régulières, et par conséquent ils appartiennent vraisemblablement à la népheline. La pâte renferme en outre de petits cristaux

(1) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 93. — H Tasche. *Section Schotten der geologischen spezial Karte des Grossherzogthums Hessen*; Darmstadt, 1859.

(2) *Geological Society*, XV, 115.

(3) Delesse. *Etudes sur le métamorphisme des roches*; in-8. 1858, 416.

(4) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 219. *Niederrhein. Gesellsch. f. Naturk. zu Bonn*, août 1860.

dont la nature est inconnue et qui appartiennent au système quadratique. Enfin on y observe encore des grains blancs, transparents, ayant au plus un quart de millimètre qui doivent incontestablement être rapportés à l'amphigène. D = 2,533.

SiO^3	SO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
54,02	0,35	19,83	4,54	2,09	0,31	5,93	9,83	3,10	100,00

Le phonolite d'Olbrück paraît essentiellement formé d'amphigène, de néphéline, d'orthose vitreux, et il contient en outre de l'haüyne. La présence de l'haüyne et de l'amphigène le distingue du reste des autres variétés de cette roche.

Mélaphyre. M. Noeggerath (1) a observé dans le mélaphyre de Kronweiler une amande gigantesque, qui atteint 1 mètre de longueur. Elle est aplatie à sa partie inférieure et, comme d'habitude, sa forme rappelle celle d'un gaz se dégageant dans une matière visqueuse. Elle est creuse intérieurement, mais ses parois sont tapissées par des skalénoèdres de chaux carbonatée violette.

Dolérite, öwenburg. M. Vom Rath (2) a analysé la dolérite de Löwenburg. On distingue dans cette roche de l'augite, du péridot, du fer oxydulé, un feldspath du sixième système, et il s'y trouve probablement aussi de la néphéline. Sa densité est 2,895.

SiO^3	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Fe^2O^3,FeO.	Somme
52,63	13,53	9,98	8,44	6,17	1,61	4,28	1,55	1,46	99,65

Parmi les minéraux accidentels de la dolérite de Löwenburg, on peut citer la pyrite magnétique et très-rarement l'orthose vitreux.

Basalte. Westerwald. M. Krämer (3) a cherché à établir que les métaux voisins d'une région basaltique se retrouvent dans le basalte lui-même. Ainsi, le basalte du Westerwald attaqué par l'acide chlorhydrique fournit du fer, du manganèse et du titane; ce dernier métal paraît même se dégager facilement par la décomposition de la roche. La présence du cuivre a également été constatée et elle est facile à reconnaître dans certains ba-

(1) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 83. — *Niederrhein. Gesellsch. fur Naturh. zu Bonn*, 1860, Juli 4. *Riesen-Mandel aus dem Melaphyr von Kronweiller bei Oberstein.*

(2) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861, LXXXVIII.— *Niederrhein. Gesellsch. fur Naturh. zu Bonn*, 1860, Aug. 2. Dolerit von den Löwenburg.

(3) *Jahresb. v. Kopp*, 1859, 829. — *Verhandlungen der Rhein. Westphal. Vereins;* XIV, 126.

saltes bien caractérisés; M. Delesse a observé notamment de la pyrite de cuivre en petits nodules dans une nappe de basalte qui s'est épanchée à Borne près du Puy-en-Velay. Du reste les diorites et surtout les trapps qui se rapprochent beaucoup des basaltes sont fréquemment cuprifères ; et la relation qui lie les gîtes métallifères aux roches éruptives a été signalée par plusieurs géologues, en particulier par MM. Burat et Élie de Beaumont.

M. Krämer a encore reconnu dans la basalte du Westerwald une quantité dosable d'acide phosphorique et de plus des sels de soude qui sont solubles même dans l'eau froide.

Vogelsgebirge. Le basalte constitue en grande partie les environs de Schotten dans le Vogelsgebirge. D'après M. Tasche (1) c'est un basalte bleu, formé par un mélange intime de labrador, d'augite et de fer oxydulé, qui contient toujours du péridot ayant une couleur jaune. Ses minéraux accessoires sont l'hyalite, la chabasie, la phillipsite. M. Engelbach a trouvé pour sa composition :

SiO^3	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	Somme.
46,38	12,87	15,35	12,87	8,12	1,56	3,24	100,39

De l'eau n'est pas indiquée dans cette analyse, mais la roche doit cependant en contenir, comme cela a généralement lieu dans le basalte.

Indépendamment du basalte bleu, il y en existe un autre qui est noir. Ce dernier forme seulement des protubérances escarpées présentant des pentes rapides. Il est souvent schistoïde ou prismatique et son péridot est d'un vert foncé. Il paraît avoir terminé les éruptions volcaniques et ressemble à une masse difficilement fusible qui se serait refroidie subitement. Au pied de ces montagnes basaltiques du Vogelsgebirge, il y a fréquemment des tuffs et des amygdaloïdes dont les cavités ont été remplies par de la chabasie et par de la philippsite.

Le basalte bleu est d'âge intermédiaire entre le basalte noir et les roches trachytiques du Vogelsgebirge.

Néphelinite. Les laves de Niedermendig et de Mayen contiennent, comme l'on sait, de la néphéline et M. de Dechen (2) a constaté qu'il

(1) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 93 H. Tasche. *Section Schotten der geologischen spezial-Karte des Grossherzogthums Hessen;* Darmstadt, 1859.

(2) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 98. — *Niederrhein. Gesellsch. zu Bonn*, 1860, 2 Aug. — *Beschaffenheit der Lava aus der Vulkanen gruppe des Laacher-See's und Ausbruch Stelle der Lava der Niedermendig.*

en est de même pour la grande coulée de lave qui est sur le flanc ouest de l'Ochtendung. Cette dernière est exploitée dans plusieurs endroits et elle a servi à faire sur la Moselle les piles du pont pour le chemin de fer rhénan.

Haüynophyre. On a nommé Haüynophyre une variété de la lave du Vultur qui contient beaucoup de haüyne. Elle forme la colline aplatie sur laquelle se trouve le château ainsi que la ville de Melfi, et d'après M. Scacchi(1) elle provient d'un volcan secondaire qui a pris naissance sur les flancs du Vultur. Sa masse est tantôt noire, tantôt brune. L'haüyne qu'elle renferme a d'ailleurs les couleurs les plus variées, depuis le noir, le vert, le bleu, le rouge, le brun, jusqu'au blanc. Plusieurs de ses cristaux sont rouges à l'intérieur et bleus à l'extérieur. Son augite est en aiguilles brunes très-minces. M. Rammelsberg a fait l'analyse de l'haüyne provenant de l'haüynophyre de Melfi (2). Cette haüyne est représentée par la formule $RO, SO^3 + (2RO, SiO^3 + 2Al^2O^3, 3SiO^3)$ dans laquelle le rapport atomique de la potasse à la soude est $\frac{1}{3}$: 6. Quant à l'haüynophyre de Melfi, il s'attaque fortement par les acides, et voici les résultats obtenus en le traitant par l'acide chlorhydrique mélangé de moitié d'eau.

I*a* partie attaquée; I*b* partie non attaquée; II somme des deux parties.

	Cl	SO^3	SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	NaO	KO	Perte au feu	Somme.
I*a*.	0,52	2,44	28,17	16,92	3,35	»	3,53	1,63	7,12	4,58	2,31	70,57
I*b*.		»	14,29	1,57	»	6,31	5,17	2,01	»	»	»	29,35
II.		2,44	42,46	18,49	3,35	6,31	8,70	3,64	7,12	4,58	2,31	99,92

Si l'on calcule la proportion de haüyne d'après celle de l'acide sulfurique, on en trouve seulement 22 p. 100; tandis que la proportion de haüynophyre qui est attaquée s'élève à 70 p. 100. M. Rammelsberg remarque de plus que le résidu insoluble I*b* est un augite riche en fer qui se rapproche beaucoup de celui de Ténériffe, mais qui retient un excès de silice provenant de I*a*.

De même que les autres roches volcaniques, l'haüynophyre se laisse facilement attaquer par une dissolution alcaline (3).

(1) *Della regione volcanica del Monte Vulture*. Napoli, 1852.
(2) *Zeitschrift d. deutsch. geologischen Gesellschaft*, XII, 273. 1860.
(3) *Bull. de la Soc. géologique* (2); XI, 127.

Lorsqu'on le fait bouillir, même pendant peu de temps, avec une lessive de potasse, M. Rammelsberg a constaté qu'il perd 8,43 pour 100 sur lesquels il y a 3,8 de silice, et 0,83 d'alumine.

Trapp. (Allgovite) M. G. G. Winkler(1) a examiné un trapp des Alpes et lui a donné le nom d'allgovite qui est tiré de la localité de laquelle il provient. Ce trapp présente une partie claire, gris blanchâtre ou blanc verdâtre, qui est probablement du labrador, et une partie foncée qui est vert noirâtre; il contient aussi un peu de fer oxydulé.

SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	NaO	KO	Co^2	HO	Somme.
49,49	17,30	8,38	13,68	3,68	3,25	1,02	0,40	3,20	100,38

Lave. Vésuve. La lave du Vésuve de 1631 a été analysée par M. Wedding (2). Son examen micorscopique montre d'abord une pâte gris clair contenant de l'augite, du fer oxydulé, de l'amphigène, du péridot et un minéral qui serait de la meïonite. D = 2,83. Après avoir été porphyrisée, cette lave a été attaquée par l'acide chlorhydrique et maintenue pendant plusieurs jours à 100° dans un tube de verre fermé à la lampe. I*a* est la partie dissoute dans l'acide et comprend la silice enlevée dans le résidu par le carbonate de soude; I*b* est le résidu; II donne la composition de la lave entière.

	SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	NaO	KO	TiO^2 et MnO	NaCl	SO^3	HO	Somme.
I*a*.	43,79	18,78	4,32	3,11	9,27	1,10	2,41	6,91	trac.	0,82	0,04	0,17	90,72
I*b*.	4,23	2,00	0,40	0,16	0,91	0,06	1,24	0,21	»	»	»	»	9,21
II.	48,02	20,78	4,72	3,27	10,18	1,16	3,65	7,12	»	0,82	0,04	0,17	99,93

L'auteur admet que cette lave est formée de 54,0 leucite, 8,2 augite, 5,5 péridot, 16,3 meïonite, 8,8 silicate insoluble, 5,1 fer oxydulé, 1,2 hydroxyde de fer, 0,1 sulfate de chaux et 0,8 chlorure de sodium.

M. Rammelsberg (3) a étudié aussi la composition minéralogique des laves modernes du Vésuve, notamment de celles de 1858. Il a fait d'abord l'analyse de l'amphigène et de l'augite qu'elles renferment. De plus, en traitant ces laves par de

(1) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1859, 641.
(2) *Jahresb. v. Kopp*, 1859, 828.— *Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellschaft*, X, 375.
(3) *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, XII, 362. 1860.

l'acide étendu, il a pu y reconnaître l'existence de la néphéline cristallisée.

Rapilli.

Les rapilli de Kohlerberg en Silésie ont la composition suivante d'après M. Zulkowsky (1) :

SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	NiO	CaO	MgO	HO	Somme.
48,28	12,67	15,09	0,11	4,80	16,32	2,00	99,27

Ils contiennent en outre des traces de cobalt, d'acide phosphorique et de potasse.

Cendres volcaniques. Indes Néerlandaises.

Les nombreux volcans des Indes Néerlandaises rejettent souvent des cendres volcaniques. Le poids spécifique de ces cendres varie de 1,572 à 2,801 et voici les résultats de leur analyse d'après MM. Majer et Rost van Tonningen.

I.	Cendres du Goenaeng-Goentoer tombées le	4 janvier 1843 . .	(Majer)
II.	*Id.*	Goenaeng-Goentoer . . *Id.* . .	25 novembre 1844. *Id.*
III.	*Id.*	Merapi . . . . . *Id.* . .	6 septembre 1846. (Rost.)
IV.	*Id.*	Ternate . . . . . *Id.* . .	30 avril 1850. . . . *Id.*
V.	*Id.*	Taboekan . . . . . *Id.* . .	» mars 1856. . . . *Id.*
VI.	*Id.*	Lamongan . . . . . *Id.* . .	28 février 1859. . . *Id.*
VII.	*Id.*	Arosbaja . . . . . *Id.*	1859. . . *Id.*

	SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	NaO,SO^3; $NaCh^2$	HO	Somme.
I.	34,23	37.50	18,18	6,71	0,68	1,74	0,26	99,30
II.	51,77	25,77	13,67	7,43	0,94	0,30	0,32	100,20
III.	43,13	32,90	10,74	7,39	2,23	1,42	1,29	99,10
IV.	31,67	46,48	14,68	4,77	0,53	1,60	0,99	100,72
V.	50,40	27,49	12,95	5,35	0,87	3,21	1,59	101,84
VI.	44,38	15,58	29,94	8,40	0,66	0,18	0,15	99,26
VII.	49,35	17,63	22,60	7,80	0,38	0,66	0,33	98,75

Ces cendres volcaniques sont remarquables en ce qu'elles renferment une proportion très-notable de sels alcalins, sulfates et chlorures, qui sont immédiatement solubles dans l'eau. Bien que les analyses n'indiquent pas des alcalis combinés avec la silice, il est bien difficile de croire que ces cendres n'en contiennent pas puisqu'il y en a dans toutes les laves. Quant à leur composition, elle est assez variable, même pour les cendres qui ont été rejetées à des époques différentes par le même volcan.

(1) *Jahresb. v. Kopp*, 1859, 828.
(2) *Société chimique de Paris*, 1860.; *Répertoire de chimie appliquée*, II, 262.

Aérolites. Fer météorique. Rogue River.

M. Jackson (1) a signalé l'existence d'une masse considérable de fer météorique trouvé par M. Evans sur la montagne du Rogue-River. Ce fer météorique est scoriacé et renferme du péridot jaunâtre dans ses cavités. Il contient 10 p. 100 de nickel et en outre le phosphure de fer qui a été nommé schreibersite. Il paraît se rapprocher beaucoup du fer météorique trouvé par Pallas en Sibérie.

Météorite. Stawropol.

M. Abich (2) a décrit une météorite tombée le 24 mars 1858 à Petrowsk, près Stawropol, dans le Caucase. Elle présente une forme trapézoïdale irrégulière, avec des arêtes grossièrement arrondies. Sa couleur est le vert olive foncé un peu sale. La densité de la partie métallique et attirable à l'aimant est de 5,21 ; celle de la partie non attirable varie de 3,25 à 3,39. Cette dernière étant traitée par l'acide chlorhydrique concentré donne d'ailleurs 54,10 qui est attaquable (I*a*) et un résidu de 45,89 (I*b*). Les analyses de ces deux parties ont été faites par M. Abich, qui a aussi déterminé la composition de la météorite entière (II).

	SiO^3	Al^2O^3	MgO	CaO	FeO	NiO	SnO^2	Fe	S	NaO	KO	Somme.
I*a*.	31,32	»	34,43	»	27,95*	0,35**	traces.	4,37	1,64	0,50		100,56
I*b*.	47,74	9,97	21,33	5,10	10,72	1,21	»	»	»	2,18	0,97	98,92
II.	33,16	4,22	29,24	1,20	18,59	3,81	1,10	4,32	1,60	1,40	0,60	99,24***

* Avec nikel. ** Avec cuivre.
*** Il existe, en outre, des traces de chlore, de magnésie, de chrome.

D'après M. Abich cette météorite de Stawropol contiendrait :

Péridot hyalosidérite (Berzelius)	45,65	Sulfure de fer.	2,93
Péridot chrysolite.	23,04	Alliage de fer et nickel	10,25
Labrador.	18,13	Somme..	100,00

Harrison.

M. J. L. Smith (3) a analysé les météorites tombées le 28 mars 1859 à Harrison, dans l'État d'Indiana, et sur la chute desquelles une enquête bien complète avait été faite par M. Crosier. Elles étaient au nombre de quatre. Une croûte

(1) *Instit.*, 29 février 1860, 72.
(2) *Bulletin de l'Académie de Saint-Pétersbourg*, II, 404, 433 — *Jahresb. v. Kopp.*, 1860, 847.
(3) *Americ. J.* 1859, XXVIII, 409.

noire vitrifiée les recouvrait et à l'intérieur elles montraient la couleur grise habituelle ainsi que des parties métalliques. D. = 3,465. Avec le barreau aimanté on a séparé 4,91 de fer métallique nickelifère et 95,19 de substances terreuses. En traitant ces dernières substances à chaud par l'acide chlorydrique étendu, puis par une lessive de potasse, on dissout 62,49, et le résidu est de 37,51. Dans les deux analyses qui suivent, I*a* représente la partie métallique, I*b* la partie terreuse.

	Fe	Ni	Co	Cu	Pb.	S	Somme.
I*a*.	86,781	13,241	0,342	0,036	0,026	0,022	100,448

	SiO^3	Fe^2O^3	Al^2O^3	MgO	CaO	NaO	KO	MnO	Somme.
I*b*.	47,06	26,05	2,35	27,61	0,81	0,42	6,68	traces.	110,98

La météorite d'Harrison contient les minéraux trouvés habituellement dans ces roches, c'est-à-dire le fer nickelifère, le phosphure de fer et de nickel, le sulfure de fer, l'olivine, le pyroxène et en outre de l'albite ou du moins un feldspath. Voici, d'après M. J. L. Smith, quelle est à peu près sa composition minéralogique :

Fer nickelifère.	4,989	Péridot.	61,000
Schreibersite.	0,009	Pyroxène et feldspath. . .	34,000
Pyrite magnétique.	0,001	Somme	100,000

M. W. Haidinger (1) a continué ses recherches sur les météorites en donnant la description de plusieurs météorites de l'Inde. Celle de Shalka ressemble à celles de Langres et de Jonzac; elle appartient au premier groupe établi par M. de Reichenbach.

La météorite de Futtehpoor, tombée le 29 novembre 1822, a produit un globe lumineux qui était rouge et scintillant et qui faisait entendre un bruit semblable à celui du tonnerre. Sa pâte est gris cendré, traversée par des veinules de pyrite magnétique; elle renferme quelques rares globules. D. = 3,526 à 4,281. Elle est recouverte par une croûte noir brunâtre, fendillée, à impressions rondes et peu profondes qui sont isolées ou disposées par groupes.

La météorite de Pegu a été trouvée par M. Th. Oldham. Elle est gris bleuâtre, globuleuse, extrêmement friable, avec fer métallique et pyrite magnétique. Ce dernier minéral forme

(1) *Instit.*, 27 décembre 1860, 422.

même un filon qui la traverse. D. = 3,737. Les globules ont une couleur plus pâle que la météorite. La croûte qui l'enveloppe est très-mince et gris noirâtre.

La météorite d'Assan ressemble à celle de l'Aigle. Le fer métallique et la pyrite magnétique sont épars dans sa masse et en proportion à peu près égale. Ses globules sont quelquefois entourées par une zone concentrique de fer métallique. D. = 3,792. La croûte de cette météorite est gris noirâtre foncé et très-mince; des dépressions rondes et peu profondes s'observent aussi vers la partie qui paraît être terminale.

M. Haidinger a encore étudié d'une manière générale la forme ainsi que les caractères des météorites, et comme nous le verrons plus loin, il a cherché à expliquer leur origine.

ROCHES MÉTALLIFÈRES.

Parmi les publications générales qui traitent des roches métallifères, signalons, indépendamment des recueils périodiques, le troisième volume des *Études sur les filons*, par MM. B. de Cotta et H. Müller (1). Ce volume est accompagné d'une carte géologique donnant tous les filons du district métallifère de Schneeberg. M. B. de Cotta (2) a fait paraître en outre une deuxième édition de son important ouvrage sur les gîtes métallifères.

Dans le résumé que nous allons donner des principaux travaux relatifs aux roches métallifères, nous adopterons la classification des minerais d'après les métaux qu'on y exploite; car c'est la plus naturelle et la plus utile pour le mineur. Pour chacun des minerais, nous suivrons d'ailleurs, autant que possible, l'ordre géographique, comme dans l'*Histoire des progrès de la géologie* de M. d'Archiac.

Aluminium. Bauxite.

Il existe dans les départements des Bouches-du-Rhône et du Var des gisements considérables d'une roche essentiellement composée d'alumine, de peroxyde de fer et d'eau. Souvent elle est exempte de silice ou bien elle n'en contient que quelques millièmes; en outre, d'après les recherches de M. H. Sainte-Claire Deville, elle renferme jusqu'à 1 et 2 p. 100 de titane et, ce qui est plus remarquable, du vanadium en proportion très-

(1) *Gangstudien oder Beiträge zur Kenntniss der Erzgänge*, von B. von Cotta und H. Muller, 3e vol.

(2) B. von Cotta. *Die Lehre von Erzlagerstätten.* 2e édit. Freiberg, 1860.

notable. On observe toutes les variétés, depuis ce qu'on peut regarder comme un minerai d'aluminium pur, contenant près de 80 p. 100 d'alumine, jusqu'au minerai de fer donnant 45 p. 100 de fer métallique à l'essai. Certaines variétés sont plus ou moins siliceuses et forment des argiles souvent peu ferrugineuses, mais dans lesquelles la proportion de la silice ne dépasse jamais celle de l'alumine.

M. H. Sainte-Claire Deville, qui a analysé cette substance minérale dans laquelle il a constaté la présence du titane et du vanadium, l'a appelée Bauxite, du nom de la commune où elle avait d'abord été reconnue; c'est de cette localité que provenait, du reste, l'échantillon analysé en 1821 par M. Berthier.

M. Meissonnier a fait une exploration très-complète des gîtes, qui sont fort nombreux, et qui, pris dans leur ensemble, forment une zone dirigé O.-O.-N. — E.-E.-S, depuis les environs de Tarascon jusque vers Antibes, sur une distance de plus de 150 kilomètres. Quelques gîtes se laissent suivre sur plus d'un kilomètre de longueur, et ont une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres; ils paraissent offrir la forme de dykes sortant à travers le terrain crétacé.

MM. Jacquemart, Le Chatelier et H. Sainte-Claire Deville, à l'attention desquels M. Meissonnier avait signalé ce minerai, à un moment où ils étudiaient la fabrication de l'alumine avec les magmas de Picardie, en ont fait la base de plusieurs industries nouvelles. Enfin, il sert à préparer un aluminate de soude, anhydre et non déliquescent, susceptible d'être employé pour la teinture et pour la fabrication du papier, ainsi que de l'alumine calcinée ou hydratée, pouvant servir pour la céramique, pour l'extraction de l'aluminium, pour les impressions sur étoffes, pour la production des sels d'alumine exempts de fer, etc.

De l'ensemble de ces recherches il est aussi résulté que certaines variétés de Bauxite constituent un véritable minerai de fer susceptible d'entrer avec avantage dans la composition des lits de fusion naturellement siliceux; depuis quelques années notamment on en fait usage à la forge de Tamaris près d'Alais.

Des roches analogues ont d'ailleurs été retrouvées dans l'Italie méridionale et même au Sénégal (1).

(1) Renseignements communiqués par M. Le Chatelier à M. Delesse.

Manganèse. Psilomélane. Olpe.

M. K. List (2) a examiné une psilomélane qui s'exploite près d'Olpe. Elle présente des masses en stalactites, ayant une couleur bleu noirâtre, dont les interstices sont remplis par une argile rouge de chair. Dans certains cas, elle est compacte, à cassure incomplément conchoïde, à éclat métallique et à couleur gris de fer. Cette dernière variété peut rayer le feldspath et même la face ∞P du quartz. D = 4,699.

Mn	O	CuO	CoO	CaO	KO	HO	Résidu insoluble.	Somme.
61,37	28,29	1,28	0,31	0,37	1,36	4,02	2,51	99,51

La psilomélane d'Olpe contient de la potasse et perd seulement 4,49 d'oxygène par calcination. Elle forme dans la grauwake un filon puissant qui, dans sa partie sud, est traversé par un autre filon renfermant du fer spathique et de la galène. Plus le filon s'approche de ce dernier, plus la psilomélane est mélangée de limonite.

MM. V. Sévoz et J. Breuilhs (1) ont fait des recherches sur la composition et sur le gisement des minerais de manganèse de la province de Huelva en Andalousie.

Huelva.

I. Pyrolusite cristallisée.

II. Pyrolusite compacte, en masses rayonnées, donnant une poussière semi-métallique et noir bleuâtre. D. = 4,84.

III. Peroxyde de manganèse hydraté, compacte, noir mat, à poussière noir chocolat; il a une densité qui est au plus de 3,50. Chauffé à 240°, il retient seulement 9,4 d'eau combinée. Il se présente en rognons zonés ou en stalactites.

IV. Psilomélane compacte, gris d'acier un peu mat, à poussière noire brunâtre. D. = 4,19.

V. Psilomélane compacte, noire à peine bleuâtre, à poussière un peu plus sombre que la précédente, très-dure et faisant feu au briquet. D. = 4,10.

VI. Psilomélane compacte, noir grisâtre, à poussière plus ou moins foncée très-difficile à attaquer par les acides et ayant la dureté du quartz.

	MnO^2	Fe^2O^3	Ba	SiO^3	HO	Somme.
I.	97,9	0,5	»	»	1,1	99.5
II.	96,9	1,0	»	1,0	0,5	99,4
III.	84,2	1,7	»	traces.	13,4	99,3
IV.	77,4	3,5	10,4	3,4	4,0	98,7
V.	72,9	4,0	8,6	9,3	3,2	98,0
VI.	29,5	1,5	3,0	63,0	2,0	99,0

Les minerais de manganèse de Huelva consistent en peroxyde

(1) *Bulletin de la société de l'industrie minérale*, 1860, VI, 29.

(2) Poggendorff. *Ann. der Phys.*, CX, 321. — *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 188.

anhydre (I, II), ou hydraté (III), ou bien le plus souvent barytifère (IV, V, VI). La silice ne se sépare jamais à l'état gélatineux; par suite elle n'est pas combinée, mais seulement très-intimement mélangée au minerai, et elle lui communique sa dureté. Elle s'observe surtout dans la psilomélane ou dans le peroxyde barytifère, et il en est de même pour l'oxyde de fer. Elle est généralement à l'état de jaspe ou de quartz rouge vineux et même de quartz blanc hyalin, qui est quelquefois en fragments et constitue une brèche cimentée par le minerai de manganèse. On y rencontre très-accidentellement de l'hétérosite, comme à la mine Chapparal.

Ces minerais sont encaissés dans le schiste silurien, et ils paraissent en relation avec des diorites qui se trouvent dans leur voisinage. Ils accompagnent des dykes de jaspes et se sont concentrés, tantôt au toit, tantôt au mur. Les schistes encaissants en sont aussi imprégnés. Bien que les dykes de jaspe soient peu continus, ils s'alignent cependant sur plusieurs kilomètres de longueur, et les exploitations du Granado paraissent se rapporter à quatre lignes distinctes dont les traces se retrouvent jusqu'en Portugal. Les minerais de manganèse de Huelva sont du reste extrêmement irréguliers et n'offrent aucune continuité dans la profondeur. Un amas de plusieurs mètres se réduit souvent à de simples veinules à une très-petite distance. Vers la surface du sol, il semble même qu'il y ait eu accumulation du minerai, comme si ce dernier avait été déposé par des sources minérales émergeant dans une série de bassins alignés suivant les dykes de jaspe.

Fer. Fer oxydulé. Vermont.

M. H. Rittler (1) a observé dans les montagnes Vertes (État de Vermont) du fer oxydulé et du fer chromé qui forment les ramifications d'un filon très-puissant de serpentine et de grunstein enclavé dans le gneiss. Près de Troy le fer oxydulé a 1^m,65 d'épaisseur. Certaines ramifications qui consistent en fer chromé ont plus de 0^m,30 d'épaisseur et peuvent se suivre sur une grande longueur.

Fer oxydulé et fer oligiste. Diélette.

Il existe à Diélette, dans la Manche, un gîte de fer qui est très-riche, mais que la mer recouvre malheureusement deux fois par jour; c'est sur ce gîte que M. A. Bérard (2) vient d'entreprendre

(1) *Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 94. — *Berg und Huttenmänn. Zeitung*, 1860, 124.; *Briefliche Meiltheilung an* B. von Cotta.

(2) Communication de M. A. Bérard à M. Delesse.—Bonissent. *Extrait des séances du congrès scientifique tenu à Cherbourg*, septembre 1860, 11.

un puits de recherches en ayant recours à un procédé ingénieux qui permet de travailler d'une manière continue et indépendamment des marées. Le minerai duquel nous avons seulement à nous occuper ici est un mélange de fer oxydulé magnétique et de fer oligiste. Il est noir ou gris d'acier, souvent pailleté et schisteux. Sa densité varie de 3,5 à 4,7. Des essais faits à l'École des mines dans le laboratoire de M. Rivot ont montré qu'il rend plus de 50 p. 100 de fonte, et une analyse a donné à M. John Mitchell:

Fe^2O^3	FeO	MnO	Al^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	S	PO^5	Résidu insoluble.	Somme.
49,27	20,82	0,98	1,76	0,42	0,51	0,31	0,28	tr.	0,29	23,96	98,60

Le résidu insoluble consiste en quartz qui est en petits grains hyalins; mais on distingue en outre dans le minerai des lamelles de mica qui expliquent la présence des alcalis. Le minerai de fer de Diélette est intercalé dans un schiste métamorphique que M. de Caumont regarde comme silurien. Il est généralement à stratification concordante. Dans une première veine qui court sensiblement E.-O. parallèlement à la plage, le pendage est de 75° vers la mer et la puissance varie de 10 à 18 mètres. Dans une deuxième veine oblique à la première, et s'inclinant en sens inverse, la puissance est en moyenne de 10 mètres. Le granite se montre toujours assez près du minerai; car il en est au plus à 130 mètres, et à Diou à quelques mètres seulement. Dans ce dernier gisement, le minerai est plus compacte, plus dense, plus magnétique et aussi un peu plus riche. Le gîte de Diélette paraît présenter les caractères d'une couche de minerai de fer qui aurait été métamorphosée en même temps que les schistes dans lesquels elle est intercalée (1).

Hématite. Brilon.

M. R. Stein (2) a étudié le minerai de fer des environs de Brilon. Ce minerai borde souvent le grunstein, et il peut même l'imprégner plus ou moins (p. 41). Il forme aussi des couches dans le calcaire dévonien. Il consiste en hématite rouge, qui contient accidentellement de la dolomie (*braunspath*) et passe quelquefois au fer oligiste écailleux. Le calcaire qui se trouve

(1) Delesse. *Etudes sur le métamorphisme des roches.* In-4°, 7.

(2) *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1860, XII.

à son contact est assez riche pour être exploité comme minerai de fer. Dans certains endroits, l'hématite devient quartzeuse ou bien elle est accompagnée de pyrite de fer. Le minerai peut aussi être complétement intercalé dans le grunstein qui passe alors à un spilite (*schalstein*) imprégné par de l'hématite. Tandis que le calcaire dévonien est surtout riche en coraux, le minerai de fer, qui contient également des fossiles, renferme particulièrement des gastéropodes, des brachiopodes, des céphalopodes et des trilobites. M. Stein observe que ce minerai s'est vraisemblablement formé sur les côtes, à une moindre profondeur que le calcaire, et que, d'après sa faune, il est contemporain du calcaire à stringocéphales. Au moment du métamorphisme qui a produit le spilite, le minerai de fer a dû lui-même être métamorphosé, et l'on conçoit alors comment il peut imprégner le spilite ainsi que le calcaire avec lesquels il se trouve en contact (1).

Limonite. Vogelsgebirge.

M. Tasche (2) a étudié le minerai de fer qui est associé aux éruptions basaltiques dans le Vogelsgebirge. Il est formé par une limonite à éclat résineux qui montre tous les passages à une wake basaltique. Il se continue souvent sur plusieurs lieues dans une même direction, et son gisement présente une grande régularité. Tantôt il est en amas isolés; tantôt il est en couches plus ou moins épaisses et à l'état de bohnerz. Son origine paraît se rattacher aux éruptions volcaniques qui avaient lieu soit sur la terre ferme, soit dans les bassins au bord desquels se déposaient les débris des roches basaltiques.

Franconie.

M. Stein (3) a appelé l'attention sur un minerai de fer que l'on commence à exploiter activement depuis l'exécution du chemin de fer du nord de la Bavière. L'analyse de ce minerai a montré que c'est un grès ferrugineux et argileux. Il forme une couche dans le jura brun ou moyen de la Haute Franconie. La composition minéralogique que présente cet étage jurassique dans la contrée est d'ailleurs toute différente de celle de l'Angleterre; car M. Stein observe que le calcaire oolitique y est remplacé par des grès.

Crussol.

M. Lory (4) a indiqué deux horizons pour le minerai de fer

(1) Delesse. *Études sur le métamorphisme des roches* 1861. In-4, 5 et 65.
(2) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 94. — H. Tasche. *Section Schotten der geologischen Spezial Karte des Grossherzogthums Hessen*. Darmstadt, 1859.
(3) *Berg. Hütten. Zeit.*, 1860, 335.
(4) Description géologique du Dauphiné 1re partie, 52.

jurassique dans la montagne de Crussol, en face de Valence. Dans le lias supérieur, il mentionne d'abord une petite couche de marne avec de l'hydroxyde de fer oolitique, qui correspond à celui qu'on exploite à Privas et à la Verpillière. Dans l'étage oxfordien et vers sa base, c'est-à-dire dans le callovien de d'Orbigny, il signale en outre une petite couche de marne ferrugineuse qui, à la Voulte et à Veyras, formerait de grands amas lenticulaires d'hématite rouge et compacte sur lesquels sont exploitées des mines importantes.

Fer carbonaté. Exmoor.

M. Waringston W. Smyth (1) a exploré les mines de fer d'Exmoor qui s'étendent d'Ilfracombe à Bridgewater dans le comté de Devon et à l'ouest du comté de Sommerset. Voici les principaux résultats géologiques auxquels il a été conduit. Une série de fissures parallèles se sont ouvertes dans des plans qui sont à peu près ceux de la stratification générale; elles ont été remplies par du fer carbonaté, par un peu de quartz et par des fragments de la roche encaissante. Ultérieurement elles ont d'ailleurs éprouvé des dislocations, comme on le voit à Wood et à Groosemoor, près de Bearland.

Le fer carbonaté formant le minerai primitif a été entièrement métamorphosé en goethite ou en hydroxyde de fer; son acide carbonique a disparu, et le manganèse qui était d'abord à l'état de carbonate s'est changé en peroxyde dans le nouveau minerai. La structure rhomboédrique s'est d'ailleurs conservée dans toute la masse; mais les cavités résultant de la diminution de volume ont permis à la goethite de cristalliser en une multitude d'aiguilles brillantes et aciculaires.

Quelques veines du minerai de fer se sont changées en hématite ou en peroxyde de fer anhydre, mais c'est seulement près de la surface.

Comme il existe des cailloux roulés d'hématite dans les couches inférieures du New-Red-Sandstone, il est probable qu'ils proviennent de ces minerais de fer dont la formation serait par cela même antérieure au New-Red.

Le changement du fer spathique en oxyde est un phénomène important qui a été signalé depuis longtemps et étudié récemment par M. Haïdinger. Le plus ordinairement, il se produit de l'hydroxyde comme en Styrie, en Carinthie et dans le pays

(1) *Geolog. society*, 1859, XV, 105. On the iron ores of Exmoor.

de Siegen; cependant le peroxyde anhydre s'observe aussi notamment dans le pays de Siegen et aux environs de Bilbao.

Zinc. Wiesloch.

M. C. Claus (1) a décrit les gites zincifères de Wiesloch dans le grand-duché de Bade. Le minerai se trouve toujours dans le Muschelkalk, surtout dans l'étage désigné sous le nom de calcaire de Frederichs-Hall. C'est le plus souvent du zinc carbonaté, plus rarement de la calamine et de la blende. Il est généralement accompagné par de la limonite et par du fer carbonaté argileux, dans quelques cas, par de la galène et par du plomb carbonaté. On y a rencontré très-accidentellement du cadmium sulfuré, de l'orpiment et du réalgar.

Chrome.

M. J. Fournet (2) a indiqué de l'oxyde de chrome dans le filon de quartz du val d'Ajol. Il remarque à cette occasion que ce minéral se montre aussi dans des émissions quartzeuses aux Écouchets (Saône-et-Loire), à Halle, à Waldenbourg. Dans les gîtes métallifères, le chrome est souvent associé au plomb; c'est ce qui a lieu, par exemple, pour des minerais de plomb phosphaté à poussière jaune que M. Fournet a observés dans les mines de l'Aveyron, ainsi qu'à Roziers et à Labrousse près de Pontgibaud. Il en est encore de même pour la vauquelinite dans les gîtes de la Sibérie et pour le plomb molybdaté de Pamplona qui a été analysé par M. Boussaingault.

Etain. Guyane française.

M. Damour (3) a reconnu que l'or natif de la Guyane française peut être accompagné d'étain. Ce fait, signalé déjà par M. Hermann pour l'or de la Sibérie, était intéressant à constater; car il établit bien l'existence dans la nature de l'étain à l'état métallique. La platine se sépare en petits grains ou en paillettes brillantes quand on attaque le minerai par l'acide nitrique; quant à l'étain, il est à la surface de l'or et dans ses cavités. Ces deux métaux ne sont donc pas alliés à l'or.

Cuivre. Traverselle.

M. Gaetano Burci (4) a donné une description du gîte métallifère de Traverselle en Piémont qui est un des plus remarquables que l'on connaisse. Ce gîte se trouve sur le torrent Bersella, à la limite de la syénite et du micaschiste. Il est formé par une masse de fer oxydulé cristallin dans laquelle sont dis-

(1) *Berg. Hütten. Zeit.*, 1860, 495.
(2) *Comp. rend.*, XLIX, 601.
(3) *Comp. rend.*, 1860.
(4) *Nuovo Cimento*, XII, fascicule de juillet et août 1860. *L'Elettricità applicata alla preparazione meccanica del minerale di rame estratto dalla miniera di Traversella in Piemonte.*

séminés de nombreux minéraux. La pyrite de fer y est fréquente et en cristaux aussi beaux que ceux de l'île d'Elbe; la pyrite de cuivre (chalkopyrite), qui est plus rarement cristallisée, s'y rencontre en masses considérables. On peut signaler encore le fer oligiste, la galène, la blende, la pyrite magnétique et le mispickel, moins souvent l'antimonite, le molybdène sulfuré, la villarsite et le spath fluor. Parmi les espèces minérales qui, indépendamment des minerais métalliques, sont connues dans toutes les collections, il convient également de citer la chaux carbonatée, la dolomie, le mesitinspath, le quartz, la chlorite, le grenat, le pyroxène, l'amphibole, la traversellite. Récemment M. R. Sella vient même d'y découvrir de beaux cristaux de schéelite (1).

Le gîte métallifère de Traverselle offre une masse principale dirigée N.O.-S.E. qui, en comprenant ses ramifications, est connue sur une longueur de 500 mètres environ et sur une profondeur de 150 mètres. Son inclinaison la plus habituelle est de 50° à 60°. Ses minerais alternent souvent avec des zones de calcaire dolomitique qui sont ordinairement parallèles au toit et au mur. Quand il ne se trouve pas disséminé en paillettes ou en veines dans le fer oxydulé, le minerai de cuivre se montre en masses qui sont ordinairement lenticulaires; dans ce dernier cas, la gangue du minerai est plus particulièrement la chaux carbonatée et la pyrite. Pour faire apprécier l'importance de ces masses, il suffira de dire que l'une d'elles a donné 6.000 quintaux métriques de minerai de cuivre ayant une teneur moyenne de 5 p. 100 et représentant un volume d'environ 520 mètres cubes.

Si l'on considère une section horizontale du gîte, on voit au nord-ouest le filon principal se ramifier et venir au contact d'un schiste assez altéré dans lequel le quartz a pris en grande partie la place du mica. Au sud-est, le filon enveloppe d'ailleurs une roche à base de grenat qui est très-dure et qui ne contient pas de minerai. Ces détails sur le gisement de Traverselle sont suivis de la description d'un procédé ingénieux que M. Gaetano Burci emploie pour la préparation mécanique du minerai de cuivre, et qui repose sur l'emploi du magnétisme développé par l'électricité.

(1) Sella. Studii sulla Mineralogia Sarda. (*Accademia delle scien e di Torino.*)

M. Tellef Dahll (1) a fait connaître plusieurs des gîtes cuprifères qui se trouvent dans le schiste ancien de Tellemark en Norwége duquel nous donnerons plus loin la description.

Hitterdal. Dans la montagne Kjoiringen, près Hitterdal, le minerai consiste en pyrite de cuivre ordinaire et panachée; il forme des veines et des rognons dans une couche de schiste amphibolique qui est intercalée dans le micaschiste quartzeux. La pyrite de cuivre est quelquefois disséminée dans le schiste amphibolique, mais seulement dans les parties où ce dernier est pénétré par le quartz qui est la gangue essentielle du minerai. Quant à la pyrite panachée, elle s'observe seulement dans le quartz. Du fer oligiste en petites lamelles et de la chaux carbonatée blanc jaunâtre s'y rencontrent également.

Haukum. Le schiste micacé et quartzeux de Haukum, près de Heivandet, renferme des rognons de granite qui sont transverses à la schistosité. Le plus gros de ces rognons a été exploité; il contient de la pyrite panachée, et dans ses cavités de l'argent natif filiforme, de l'heulandite, de la laumonite. De l'or y a même été observé. Parmi les autres minéraux, il faut encore signaler le fer oxydulé, le molybdène sulfuré, le grenat, l'épidote et des traces de pyrite de cuivre.

Bandag. A Bandag, un filon cuprifère est encaissé dans des schistes cristallins vers la limite du quartzite schisteux et du gneiss granitique. Ce filon consiste en un agrégat grenu de quartz, de mica, de pyrite de cuivre, de pyrite panachée, de galène, de blende, et de feldspath vert (pierre des Amazones). L'argent natif filiforme s'y observe également.

Nœsmark. A Nœsmark, le micaschiste quartzeux est coupé par un filon de granite qui est lui-même partagé en tronçons presque égaux par des veines de quartz. C'est dans ces veines qu'il y a du cuivre sulfuré et de la pyrite de cuivre panachée.

Mosnap. A Mosnap, le minerai de cuivre s'exploite dans des filons de granite qui traversent le micaschiste quartzeux. Le minerai est associé au granite, et c'est seulement quand le micaschiste encaissant devient tendre qu'il s'y trouve disséminé.

Moberg. A la mine de Moberg, un filon de quartz très-régulier est encaissé dans le schiste amphibolique qu'il coupe obliquement.

(1) *Ueber die Geologie Tellemarkens* (Deutsch von W. Christophersen); Christiana, 1860, 13.

La puissance du filon varie de 1m,30 à 2m,70; vers son mur il contient du feldspath et du mica. Ses minerais sont la pyrite de cuivre panachée avec un peu de pyrite de cuivre, du molybdène sulfuré et du fer oligiste.

Ces exemples montrent bien que les minerais de cuivre ne se trouvent pas spécialement dans certains schistes, mais dans des filons de granite ainsi que dans des veines ou dans des rognons de quartz qui sont au contraire encaissés dans des schistes différents. Les filons de granite sont les mêmes que ceux qui traversent le gneiss granitique postérieur à ces schistes; il est donc probable qu'ils ont paru en même temps que lui. Des métaux nobles, l'argent et l'or, accompagnent d'ailleurs les minerais de cuivre. C'est surtout vers la limite du gneiss granitique qu'on rencontre les principaux filons de granite; et la carte géologique jointe au mémoire de M. Tellef Dahll fait bien voir que les mines et les gisements de minerai les plus importants se trouvent au voisinage de cette limite.

Pays des Namaquois. M. Thies (1) a exploré les mines de cuivre du Pays des Namaquois, au cap de Bonne-Espérance (2). Les plus importantes sont dans le gneiss, et leurs minerais sont des sulfures, des oxydes, de l'hydrosilicate de cuivre ainsi que du cuivre natif. Leur nature varie du reste beaucoup avec les localités. L'hydrosilicate de cuivre forme quelquefois le toit et le mur des filons. A Concordia, le molybdène sulfuré est associé à la pyrite de cuivre et, comme cette dernière, il peut imprégner le granite qui renferme même jusqu'à 22 et 25 p. 100 de cuivre. Le granite dans lequel il y a seulement de 11 à 13 p. 100 de cuivre est laissé de côté comme inexploitable. A la limite du gneiss et du granite on a trouvé à Concordia deux plaques de cuivre natif qui avaient plus de 0m,30 d'épaisseur. A Wheal Maria, le minerai, qui consiste en pyrite de cuivre, se trouve vers la limite d'un granite porphyrique et d'une diorite. Ce dernier gîte présente un stockwerk, ayant une puissance de 100 mètres, lequel est traversé par des veines nombreuses d'hydrosilicate de cuivre contenant de l'or natif. Un amas de minerai de cuivre du poids de

(1) Reise des Ingenieurs A. Thies nach den Kupferbergwerken Namaqua-Land's, in sud Africa von C. Zerrenner. (*Berg und Huttenmännische Zeitung*, 1860.)

(2) Delesse. *Annales des mines* (5e s.); 1855; VIII.

4 tonnes a été trouvé dans le granite qui, en cet endroit, avait pris une couleur noire et s'était chargé de fer oxydulé.

Pisanite. Un sulfate double de cuivre et de fer, provenant d'une mine de Turquie et ayant une couleur bleu verdâtre comme le sulfate de cuivre a donné à M. Pisani (1) la composition suivante:

CuO	FeO	SO³	HO	Somme.
15,56	10,98	30,05	43,41	100,00

La formule de ce sulfate serait: $(CuO,FeO)So3 + 7HO$,

et M. Kenngott a proposé de le nommer pisanite.

Plomb. Paillères. M. Parran (2) a signalé du plomb sulfaté dans le lias inférieur de Paillères dans le Gard. Ce minerai enveloppe quelquefois de la galène encore intacte, et par conséquent il provient de la décomposition de cette dernière. Il est d'ailleurs associé à de la pyrite, à de la blende, à du quartz et à de la baryte sulfatée.

Commern. M. J. Fayn (3) a décrit les mines de plomb de Commern dans l'Eifel. Cette formation métallifère des terrains secondaires occupe une étendue considérable, et qui est même comparable à celle du schiste cuivreux de la Thuringe. Elle présente des couches, au plus au nombre de quatre, qui sont intercalées dans le grès bigarré, avec une direction E.N.E. et un pendage d'environ 11° vers le N.N.O. La puissance de la couche supérieure, la seule généralement exploitée, varie de 10 mètres à 25 mètres. A Meinertzhagen, quatre couches ont des puissances successives de $10^m,50$, 4^m, 6^m, 30 et $8^m,36$. La couche dont la puissance est la plus grande se trouve dans le district de Bach et elle dépasserait 40 mètres. Le toit et le mur des couches métallifères sont formés par un conglomérat de cailloux quartzeux cimentés par une argile ferrugineuse. Ces couches consistent en un grès friable, blanc-grisâtre, terne et peu argileux. Elles contiennent des nodules très-compactes qui présentent du quartz, de la galène et du plomb carbonaté. Il y a aussi de l'azurite, ainsi que de la malachite, et parfois des nodules zonaires de limonite. La pyrite de cuivre paraît même avoir été exploitée à Vlatten. Des veines ou de petits filons de galène traversent quelquefois le grès métallifère. Les nodules de minerai de plomb peuvent d'ailleurs atteindre $0^m,15$ et la richesse du minerai en galène dépasse 4 1/2 p. 100.

(1) Communication de M. Pisani.
(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, XIV, 108.
(3) *Revue universelle des mines*, VII, 314.

Vallée du Mississipi. M. J. D. Whitney (1) a publié un important travail sur les minerais de plomb de la vallée du Mississipi. Ces minerais s'exploitent dans deux régions, le Mississipi supérieur et le Missouri. Ils se trouvent dans le terrain silurien. La galène est le plus ordinairement cristallisée en cube qui, dans quelques cas rares, est combiné avec l'octaèdre. La blende est presque le seul minerai qui l'accompagne et elle manque même dans la plupart des mines, ce qui explique la grande pureté du plomb obtenu. Le gisement peut présenter des dépôts superficiels, des veines, ou bien des amas. Dans les dépôts superficiels, les minerais sont disséminés au milieu d'une argile comme celle qui forme le sol des prairies, et habituellement ils n'ont pas été transportés à une grande distance. Les veines ont rempli des fissures très-irrégulières ayant au plus quelques centimètres, et c'est seulement par exception qu'elles dépassent $0^m,30$. Le minerai y est accompagné par de l'argile et par de l'ocre, qui continuent à former les veines, même lorsque le minerai vient à disparaître. Les fissures donnent aussi lieu à des cavités résultant de ce que la roche encaissante a été corrodée, et alors le minerai se présente en amas. Les dimensions de ces amas sont ordinairement de $1^m,3$ à 4 mètres, et la roche encaissante peut devenir métallifère jusqu'à une distance de 13 mètres. On trouve d'ailleurs des cavités ayant même forme que les amas et ne contenant pas de minerai; il en est aussi dans lesquelles il existe de l'argile avec une grande quantité d'ossements de mastodonte, de loup, de buffle. Enfin les cavités sont, dans certains cas, parallèles à la stratification, et alors la galène y est le plus souvent associée à la blende et à la pyrite de fer. La gangue la plus habituelle est la chaux carbonatée et quelquefois la baryte sulfatée. Quoique la forme de ces amas horizontaux soit très-irrégulière, elle est à peu-près lenticulaire. M. Whitney donne encore sur les minerais de plomb du Mississipi des développements intéressants pour lesquels nous sommes obligé de renvoyer à son mémoire.

(1) *Report on the Geological Survey of the State of Iowa*, 1859. — *Berg. Hütten. Zeit.*, 1860, 317.

Plomb natif.

Le plomb métallique a été signalé par MM. Redtenbacher et Ch. Reichenbach (1) dans un tuf basaltique de Rautenberg en Moravie. Ce minéral est toujours très rare ; cependant sa présence peut être considérée comme authentique à Perote (Vera-Cruz), où il est accompagné par de l'oxyde de plomb; dans les sables aurifères de Olah Juan en Transylvanie, et de Lontjewsky dans l'Oural. D'un autre côté, M. J. Nöggerath (2) pense, avec MM. W. Reiss et Kenngott, que le plomb signalé dans une lave de Madère y avait été introduit artificiellement.

Mercure. Cinabre. Agordo.

M. J. Trinker (3) a décrit le gîte de mercure de Wallalta près d'Agordo en Vénétie. La roche métallifère consiste en un mélange irrégulier de schiste talqueux et argileux avec du gypse, de la pyrite de fer, du porphyre et une argile sombre dont les parties sont plus ou moins imprégnées de cinabre. Elle paraît former un amas dans le grès. Ce minerai de mercure de Wallalta est sans doute postérieur au gîte pyriteux ancien d'Agordo et antérieur au fer spathique le plus récent de Primor en Tyrol.

Argent. Chanarcillo.

M. E. B. Dorsey (4) a donné une description du gîte argentifère de Chanarcillo au Chili, déjà connu par les recherches de M. Henwood. Ce gîte se trouve dans une montagne dans laquelle il y a sept couches bien distinctes qui peuvent elles-mêmes se subdiviser. L'inclinaison moyenne des couches est de 11 centièmes du nord-est vers le sud-ouest, et cette direction est aussi celle des filons. En commençant par le haut de la montagne, les couches présentent la série suivante :

	Épaisseur.
Calcaire traversé par un grand nombre de failles qui sont remplies par des cristaux de chaux carbonatée et par une matière argilo-calcaire. Les filons y sont stériles.	30m
Calcaire bréchiforme et métallifère; il est traversé par une multitude de petits filons dirigés dans tous les sens; mais les plus nombreux et les plus riches ont la direction nord-est.	13,3
Dolomie bleuâtre, qui est la couche la plus importante; car elle fournit 75 p. 100 de l'argent exploité.	166
Schiste argileux désigné sous le nom de porphyre.	76
Calcaire	33

(1) *Geolog. Society*, XVI, 16. Miscellaneous.
(2) *N Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 129.
(3) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1860, 355. — *Jahrb. d. k. k. geolog. Reichanst.*, 1858, 155.
(4) *Mining Magazine*, déc. 1859. — *Berg. Hütten. Zeit.*; 1860, 187 et 197.

	Epaisseur.
Schiste argileux	163
Calcaire	30
Schiste argileux	33
Calcaire reconnu sur une épaisseur de	37

Trois ammonites ont été trouvées dans les couches calcaires, et d'après l'examen de ces fossiles, M. Dorsey pense que la montagne de Chanarcillo est jurassique.

Les filons métallifères sont extrêmement nombreux. Ils sont dirigés vers le nord-est et plongent légèrement à l'ouest. Au voisinage des rejets ils s'enrichissent ordinairement. Le filon principal est exploitable dans toutes les couches calcaires, mais sa richesse diminue dans la profondeur. On peut distinguer deux systèmes de filons : 1° Les premiers qui sont les plus anciens ont pour gangue la chaux carbonatée et l'oxyde de fer. La plupart se sont formés par secrétion, et leur puissance varie depuis quelques centimètres jusqu'à 0m,70. Aucun d'eux ne se retrouve dans le schiste. 2° Les deuxièmes filons coupent les premiers sous différents angles et ne renferment que peu ou point de chaux carbonatée. Des failles traversent du reste les deux systèmes; elles ont une direction comprise entre S.E.E. et S.O.O.; elles sont surtout remplies par les débris des couches encaissantes; cependant elles sont souvent imprégnées d'argent, elles renferment même du chlorure ainsi que des bromures d'argent qui sont intimement associés à la chaux carbonatée; en sorte que ces derniers minerais continuent encore à se former.

Les minerais qui se trouvent au-dessus de la première couche de schiste porphyrique sont le plus souvent l'argent natif, ainsi que les combinaisons de l'argent avec le chlore et avec le brome. Au-dessous on rencontre encore de l'argent natif, et en outre des minerais sulfurés et arseniés. L'iodure d'argent s'observe quelquefois, mais seulement en très-petite quantité. Dans la partie supérieure du filon, la gangue consiste en chaux carbonatée massive et spathique qui est accompagnée d'hématite; c'est dans cette masse calcaréoferrugineuse que le minerai se présente en lamelles ou en cristaux et il y est complétement disséminé. Dans la partie inférieure, l'oxyde de fer est remplacé par des combinaisons avec le soufre et l'arsenic. Le quartz et la baryte sulfatée restent toujours rares et sont un indice d'appauvrissement. On ne rencontre que très-accidentelle-

ment l'amalgame naturel, ainsi que l'or et le cuivre. A 30 mètres du sommet de la montagne, on a trouvé, il y a dix ans, un échantillon d'argent natif et de chlorobromure d'argent qui avait une richesse moyenne de 75 p. 100, et dont le poids s'élevait à 22.500 kilogrammes. Les filons ne renferment pas d'argent dans le schiste porphyrique.

Cuivre et argent. Mürtschenalp.

M. G. Tröger (1) a décrit le gîte de cuivre et d'argent de Mürtschenalp dans le canton de Glaris en Suisse. La montagne Mürtschenalp, dans laquelle il s'exploite, présente à sa base et dans la plus grande partie de sa hauteur le conglomérat dit de Sernf qui tire son nom d'une localité du canton de Glaris dans laquelle il est bien développé. Ce conglomérat est distinctement stratifié, mais il a été métamorphosé, et certaines variétés dans lesquelles il y a des cristaux de quartz sont même employées comme meules. Par-dessus lui, vient une assise de quartzite ayant environ une quinzaine de mètres, puis une dolomie jaunâtre, tantôt compacte et cristalline, tantôt celluleuse, qui atteint une épaisseur de 35 mètres au Bärenboden. On n'est pas d'accord sur l'âge de ces roches. M. Tröger pense cependant que le conglomérat de Sernf correspond au rothliegende, et que le quartzite avec la dolomie représentent le zechstein ; en sorte que l'ensemble appartiendrait au terrain permien, et c'est en effet ce que rend très-probable l'existence de couches de minerai de cuivre. Quant au minerai de cuivre et d'argent, il forme soit des filons, soit des couches.

1° Les filons qui sont de beaucoup les plus importants pour l'exploitation offrent deux directions différentes, l'une vers l'est, l'autre vers le nord. Le pendage des premiers est de 35° à 50° vers le sud ; celui des seconds de 50° à 70° vers l'est. Leur puissance est très-irrégulière, et quand la roche encaissante est bien compacte, ils se réduisent même à une simple faille. Ils sont formés par une roche grise, feldspathique, avec talc vert foncé, quartz compacte et chaux carbonatée qui sont enchevêtrés l'un dans l'autre. Leur gangue peut aussi se réduire à une chaux carbonatée dolomitique de couleur jaune légèrement rougeâtre, et alors leurs minerais deviennent plus abondants et plus riches. Ces minerais sont le cuivre panaché argentifère, la pyrite de cuivre et la pyrite de fer, le cuivre sulfuré, le cuivre gris, le molybdène sulfuré, le fer oligiste en

(1) *Berg. Hütten. Zeit.*, 1860, 305.

cristaux ou bien en paillettes et un peu d'argent natif. Il faut mentionner encore quelques produits qui résultent sans doute de la décomposition des minerais originaires de cuivre, tels que la chrysocolle verte ou bien noire et résineuse, le cuivre oxydulé, la malachite, enfin plus rarement l'azurite, l'allophane, l'uranite, ainsi que la cyanosite. La roche encaissante exerce une grande influence sur les filons ; car, partout où le conglomérat de Sernf est très-dur et porphyrique, les filons deviennent très-minces ; en outre ils n'ont pas de salebande et même pas de minerais. Quand le conglomérat est tendre, il en est autrement ; ce dernier peut d'ailleurs être altéré et imprégné de minerai jusqu'à la distance de $0^m,65$ du filon.

2° Le minerai de cuivre argentifère forme aussi une couche dans le conglomérat de Sernf. Cette couche, dont la puissance peut atteindre 7 mètres, consiste en quartz fin et compacte, qui est accompagné de calcaire dolomitique et de talc. Le minerai s'y trouve disséminé ou bien en veinules ; c'est le cuivre panaché, le cuivre gris, le cuivre sulfuré. Enfin il existe encore du minerai en couches, à une grande distance autour de Mürtschenalp et jusque dans les assises qui recouvrent immédiatement le conglomérat de Sernf. Ce dernier minerai n'est pas limité à une position bien déterminée, mais il suit l'horizon du conglomérat sur une hauteur qui varie de $0^m,50$ à 20 mètres. Le plus ordinairement, il se montre dans le calcaire jaune noirâtre qui couronne le conglomérat ; cependant quand ce calcaire manque, il se trouve aussi dans le quartzite.

Comme le fait remarquer avec raison M. Tröger, il est très-vraisemblable que le minerai de cuivre en couches provient de l'épanchement sur le bord de la mer des sources cuprifères qui produisaient les filons. Le remplissage de ces filons est d'ailleurs compris entre la fin du dépôt qui constitue le conglomérat de Sernf et entre le quartzite ainsi que la dolomie par lesquels il est recouvert.

Or. Rhin.

M. Daubrée (1) a essayé la richesse en or du gravier recueilli au pont de Kehl, à une profondeur de 20 mètres au-dessous de l'étiage du Rhin. Ce gravier contient seulement $0^{gr},024$ d'or par mètre cube, et sa richesse n'est que le centième du gravier exploité aux environs. Du reste, l'or des allu-

(1) *Institut.*, 28 mars 1860, 111.

vions du Rhin provient des Alpes, et comme à Kehl il est loin de son point de départ, on ne voit pas de raison pour qu'il se soit accumulé à la base du dépôt alluvien.

Grisons. M. J. C. Deicke (1) a fait connaître le gisement de l'or à Felsberg, dans le canton des Grisons. C'est dans la montagne Callanda qu'il est exploité, et en partant de sa base, cette montagne offre la coupe suivante : *a* verrucano ; *b* calcaire; *c* dolomie qui, d'après MM. Escher de la Linth et Theobald, doit être rapportée au trias; *d* schistes métamorphiques de diverses couleurs; *e* calcaire avec huîtres et bélemnites; *f* dolomie schisteuse appartenant au Jura inférieur ; *g* dolomie massive formant une énorme assise qui s'élève jusqu'au sommet de la Callanda. L'or se trouve seulement dans des schistes chloritiques qui sont intercalés dans l'assise *d*, laquelle appartient au terrain jurassique inférieur. Il est disséminé dans des filons qui sont dirigés du N.E. au S.O. Leur puissance varie de $0^m,30$ à 1 mètre, et peut s'élever accidentellement à 6 mètres. Les gangues sont le quartz, la chaux carbonatée, et l'or se trouve à l'état natif, surtout vers la salebande supérieure. En outre il y a de la pyrite de fer qui est le plus souvent aurifère, du fer oligiste pailleté qui l'est également, de l'hématite ainsi que de la limonite. L'or forme tantôt des lamelles ou des nodules assez gros; tantôt il est disséminé en paillettes tellement fines qu'il est invisible. Beaucoup de pyrite de fer se trouve dans le schiste chloritique, mais il importe d'observer qu'elle n'est pas aurifère comme celle des filons.

Sénégal. Un rapport de M. le capitaine du génie Maritz(2) a fait connaître que l'or de Kéniéba au Sénégal est répandu dans des alluvions dont l'exploitation a été essayée jusqu'à une dizaine de mètres de profondeur. Leur richesse, pour 100 kil. de terre lavée, est environ de 4 grammes d'or qui est très-pur, et qui contient seulement quelques centièmes d'argent. Cet or se montre souvent disséminé dans les veines d'un quartz blanc à éclat gras. Dans les alluvions il est d'ailleurs associé à du fer oxydulé titanifère plus ou moins magnétique, à de la topaze, à du zircon.

(1) *Berg. Hütten. Zeit.;* 1860, 119; 1859, n° 37.
(2) *Instit.*, 21 décembre 1859.

Nouvelle-Galles du Sud. M. H. Rosales (1) a donné une description et une carte des gîtes aurifères de Ballarat et de Creswick-Creek, dans la Nouvelle-Galles du Sud (Australie).

Nouvelle-Zélande. M. Hochstetter (2) a fait connaître les gîtes aurifères qui sont exploités à Aorere et à Parapara, dans la province Nelson, Nouvelle-Zélande. L'or se trouve dans des veines de quartz traversant un schiste et un micaschiste qui passent insensiblement l'un à l'autre. Il s'est concentré à la surface de ces roches, dans les débris provenant de leur destruction, et surtout dans le lit des rivières qui y prennent leur source. Ces sables aurifères ont une richesse qui n'est pas très-grande, mais assez régulière; et dès à présent leur lavage occupe environ 250 hommes qui gagnent en moyenne 12 schellings par jour.

Californie. M. L. Simonin (3) a publié des observations sur les gîtes aurifères de la Californie. Lorsque l'or est en place il se trouve dans des filons de quartz qui, d'après l'auteur, ont essentiellement le caractère éruptif. Ces filons sont intercalés dans des schistes talqueux alternant avec des schistes ardoisiers dans lesquels il existerait des empreintes de trilobites. Ils s'observent aussi dans des grunsteins ou des diorites. Enfin les roches granitiques de Californie peuvent également être aurifères. L'or est irrégulièrement disséminé dans le quartz, tantôt en petits cristaux isolés ou groupés, tantôt en filets ou en lamelles minces et quelquefois en nids. Très-souvent il est indiscernable à l'œil nu. Son titre moyen est de 0,81. La richesse habituelle du quartz dans les mines exploitées est de 100 francs à la tonne. Les sulfures qui l'accompagnent sont la pyrite de fer, dans quelques cas, la blende, la galène, très-rarement les pyrites de cuivre. La pyrite de fer rend à l'essai du laboratoire jusqu'à 3.000 francs d'or par tonne.

L'or du terrain de transport est en pépites ou en paillettes. Il est associé à du platine qu'on n'a pas encore trouvé en place en Californie et à du fer oxydulé qui n'existe pas dans les filons quartzeux aurifères. Le terrain de transport aurifère peut atteindre une grande puissance ; car, lors même qu'il est sur les plateaux, sa puissance dépasse quelquefois 45 mètres. Presque toujours il est en relation avec les gîtes aurifères en place.

(1) *Geolog. Society*, XV, 497.
(2) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1860, 480.
(3) *Comp. rend.*, 1860, L, 389.

Géorgie. M. J. Jackson (1) a donné des indications sur le gisement de l'or à Dahlonega en Géorgie. Ce métal y est exploité dans des roches qui se sont décomposées sur place jusqu'à une profondeur d'environ 30 mètres. Il est associé au quartz qui forme des veines dans des schistes micacés et amphiboliques. A la mine Field, il est même accompagné de bornite.

Platine. Californie. M. F. Weil (2) a donné la composition d'un nouveau minerai de platine de Californie :

Pt	Ir	Rh	Pa	Fe	Cu	Os	Osmiure d'iridium.	Somme.
57,75	3,10	2,45	0,25	6,79	0,20	0,82	27,65	99.01

Ce minerai est beaucoup moins riche que celui de l'Amérique du Sud qui contient jusqu'à 85 p. 100 de platine; il renferme au contraire beaucoup d'osmiure d'iridium.

Nischne-Tagilsk. M. B. de Cotta (3) a trouvé du platine natif dans une roche des alluvions aurifères de Nischne-Tagilsk. Ce platine montre des faces hexaédriques bien caractérisées. Quant à la roche qui lui sert de gangue, elle paraît, d'après M. Breithaupt, être une serpentine jaunâtre contenant de très-petits cristaux noirâtres et octaédriques de fer chromé. Comme l'avait déjà indiqué M. Le Play, la serpentine est donc bien la gangue du platine à Nischne-Tagilsk; mais le platine ne s'y trouve que très-accidentellement et en très-petite quantité, ce qui explique pourquoi il n'a pas encore été possible de l'observer en place.

Platine et Or. Guyane française. M. Damour (4), en examinant les sables aurifères qui bordent les rives de l'Approuague (Guyane française), a constaté que l'or natif y porte souvent des empreintes qui paraissent avoir été laissées par des cristaux de pyrite de fer. En outre une pépite d'une densité de 13.65 ayant une couleur blanc d'argent a donné la composition suivante :

Pt	Au	Ag	Cu	Somme.
41,96	18,18	16,39	20,56	97,09

L'or de la Guyane est donc associé à de l'argent, à du cuivre et surtout à du platine. Lorsqu'on soumet au lavage la terre

(1) *Comp. rend.*, XL, 47, 1859.
(2) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1860, 354. — *Dingler polyt. Journal*, CLIII, 41.
(3) *Berg. Hütten. Zeit.*, 1860, 495. — *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 327.
(4) *Comp. rend.*, 1860. Sur la présence du platine et de l'étain métallique dans les terrains aurifères de la Guyane.

aurifère des rives de l'Approuague, elle donne d'ailleurs de l'argile, du quartz, du mica et un sable noir très-fin contenant du fer titané, du fer oxydulé, du fer chromé, de la limonite, du grenat, de la tourmaline, de la staurotide, du rutile et du zircon.

Minerais divers. Cornouailles, Devonshire. M. Ch. Thomas (1) a fait connaître les règles pour la recherche des minerais qui lui ont été enseignées par quarante ans de pratique comme capitaine dans les mines du Devon et du Cornouailles. Il signale particulièrement trois circonstances qui méritent au plus haut degré de fixer l'attention du mineur :

1° Le gisement, 2° le minerai, 3° sa direction.

1° En ce qui concerne le gisement, des mines susceptibles d'exploitation n'ont pas encore été trouvées dans le granite primitif.

Le minerai d'étain n'est connu que dans le granite nommé secondaire ou dans un schiste argileux, tantôt quartzeux, tantôt micacé, qui n'est pas nécessairement en relation avec l'elvan.

Le minerai de cuivre est beaucoup plus répandu, et des mines de ce métal ont été exploitées avantageusement dans le granite secondaire, dans le schiste argileux compacte, dans le killas grenu et feldspathique, dans le greenstone. Le killas blanc, boueux et le killas bleu ou noir, contenant peu de feldspath, et n'étant pas en relation avec le granite ou l'elvan, peut bien contenir de beaux échantillons de minerai; mais ces derniers ne sont pas utilement exploitables. Aucune mine de cuivre n'a d'ailleurs été ouverte dans le schiste ardoisier.

Le minerai de plomb a été trouvé en grande partie dans le schiste argileux bleu ou foncé. Dans les roches renfermant l'étain et le cuivre, il y a bien quelquefois du plomb; toutefois en quantité trop petite pour qu'on puisse l'exploiter.

2° Relativement à la richesse du minerai, l'existence du gossan ou chapeau de fer est le meilleur guide (2); c'est surtout un très-bon indice lorsque ce gossan contient beaucoup de quartz friable.

3° Enfin la direction des filons métallifères donne encore de très-bonnes indications. Si l'on rapporte la direction de ces

(1) *Remarks on the Geology of Cornwall and Devon in connexion with the deposits of metallic ores, and on the bearings of the productive lodes* Redruth, 1859.
(2) Burat. *Gisement et exploitation des minéraux utiles.*

filons au nord magnétique, qui est environ de 24° à l'ouest, on peut poser les règles suivantes. Pour les minerais d'étain, la direction varie de 40° au-dessus et au-dessous de l'est, l'exploitation est avantageuse sur environ 60°. Les minerais de cuivre sont groupés pour la plupart dans un arc de 60°, entre 10° au nord et 50° au sud de l'est. La plus grande quantité de cuivre a été obtenue entre 5° au nord de l'est et 24° au sud de l'est. La meilleure direction pour les filons de plomb est comprise entre 10° à l'ouest du nord et 40° à l'est du nord.

Une partie de ces règles pour la recherche des minerais dans le Devonshire et dans le Cornouailles a du reste été formulée déjà dans les ouvrages de sir Henry Delabèche, de M. J. Henwood, ainsi que dans le *Voyage métallurgique en Angleterre* de MM. Dufrénoy, Elie de Beaumont, Coste et Perdonnet.

Alpes du Dauphiné.

M. C. Lory (1) a donné une description des gîtes métallifères du Dauphiné d'après ses propres observations et d'après celles de MM. Gueymard et Graff. Les filons de fer spathique sont très-nombreux dans les schistes talqueux et dans les gneiss micacés de la chaîne de Belledonne et leur exploitation est surtout très-importante dans les environs d'Allevard. La plupart de ces filons paraissent postérieurs au grès à anthracite des Alpes; il en est même qui sont encore plus récents.

Les autres gîtes métallifères du Dauphiné sont très-variés. Nombreux dans le gneiss, ils sont plus rares dans les schistes talqueux et micacés; quelques-uns sont d'ailleurs encaissés dans le lias. Enfin il en est qui sont à la limite du lias et des terrains cristallisés. Les minerais les plus fréquents sont la galène, la blende, la pyrite de cuivre, la pyrite de fer, le cuivre gris, la bournonite. Dans certains gîtes on trouve encore du nickel, du cobalt, de l'argent, de l'or natif. La gangue la plus habituelle est le quartz; cependant, quand les filons contiennent de la galène, c'est la baryte sulfatée. Les gîtes particulièrement décrits sont ceux de la chaîne de Belledonne, des Chalanches d'Allemont, de la Gardette, des Rousses et de la Grave.

M. C. Lory (1) a également donné une description du gîte du Chapeau, l'un des plus remarquable des Alpes Dauphinoises

(1) Description géologique du Dauphiné 1re partie, 148, 235.

par la richesse en argent de ses minerais qui sont malheureusement rares et très-irréguliers. C'est sans doute un gîte de contact qui est dans une faille, entre le granite et les dolomies qui se trouvent au-dessous du lias. Du cuivre gris argentifère s'observe exclusivement dans ces dolomies, tandis qu'on a de la galène dans le plan même de la faille, surtout près du contact du granite qui est renversée par-dessus le lias.

Toscane.

M. Caillaux (1) a publié sur les mines de la Toscane une série de mémoires résumant plusieurs années de recherches et d'exploitation, qui viennent compléter les observations faites déjà sur le même sujet par MM. Savi, Burat, Bechi, Coquand, Cocchi. Il passe en revue les minerais de mercure, d'antimoine, de plomb, de cuivre, sur le gisement desquels il donne des détails nouveaux et intéressants.

Erzgebirge.

M. le baron F. C. de Beust (2), directeur général des mines de Saxe, a publié des notices sur la distribution des minerais dans les filons métallifères des environs de Freiberg, ainsi que sur les zones métallifères de l'Erzgebirge.

Rochlitz.

MM. P. Herter et E. Porth (3) ont fait connaître le gîte métallifère de Rochlitz sur le versant sud du Riesengebirge. Les minerais qu'on y exploitait autrefois forment des imprégnations ou fahlbandes dans du calcaire cristallin, presque exclusivement dans les parties où il renferme du pyroxène malacolite, Les minerais sont les sulfures de cuivre, de plomb, de zinc et de fer; ils sont disséminés en parcelles très-fines ou bien en veinules ou bien enfin ils tapissent les parois de failles. Près d'Ober-Rochlitz on trouve un gîte puissant qui diffère du précédent et qui paraît de formation secondaire. Les couches à malacolithe y sont traversées par quelques filons; ces derniers ont été remplis principalement par de l'argile, par des substances ocreuses et par des fragments de la roche encaissante qui est plus ou moins décomposée dans leur voisinage. Les minerais sont surtout des silicates hydratés et des carbonates accompagnés plus rarement d'oxydes et des sulfures; on y trouve notamment le cuivre hydrosiliceux, l'allophane, la néolithe,

(1) *Bulletin de la société de l'industrie minérale*, 2e et 3e année. Etudes sur les mines de la Toscane.

(2) *Berg. Hütten. Zeit.*, 1859. — *Ueber die Erzfuhrung der Freiberger Gänge.* — *Die Erzzonen in Sächsischen Erzgebirge.*

(3) *Jahrbuch der K. K. österreich, Geologischen Reichanstalt*, X, année 1859 n° 1. — *Berg. Hütten. Zeit.*, 1860, 290.

la malachite, l'azurite, l'oxyde noir de cuivre, le cuivre oxydulé, l'acide antimonieux, le plomb carbonaté, la pyromorphite, le minium, le plomb sulfaté, la calamine, la galène, le cuivre panaché, la pyrite de cuivre, le cuivre natif, le cuivre gris antimonial, la chaux carbonatée, le quartz et le gypse.

Hongrie. M. de Richthofen (1) a fait des recherches sur les gîtes métallifères qui se trouvent dans le trachyte de la Hongrie. Les minerais sont tantôt finement disséminés, tantôt concentrés dans des veinules et dans des druses. Ils consistent principalement en sulfures, tels que pyrite de fer, blende, galène, antimoine sulfuré, pyrite de cuivre, pyrargyrite, argent sulfuré. Des sulfates, notamment la baryte sulfatée et le gypse, les accompagnent, ainsi que le quartz et plus rarement les carbonates. En ayant égard à l'ordre d'ancienneté de ces minéraux, le quartz et les minerais se sont formés les premiers, puis sont venus les sulfates et en dernier lieu les carbonates. M. de Richthofen attribue la production de ces gîtes métallifères à des exhalations gazeuses, qui ont accompagné l'éruption du porphyre trachytique ; d'abord ces exhalations consistaient en fluorures et chlorures qui furent ensuite décomposés par l'hydrogène sulfuré. C'est d'ailleurs d'une manière analogue que se sont formées les alunites du trachyte, et maintenant encore le phénomène se continue par des exhalations d'acide carbonique.

Zipse, Gömör. M. le baron d'Andrian (2) a étudié les gîtes métallifères du comitat de Zipse et de Gömör. Ils sont identiques à ceux de Carinthie et se trouvent dans le schiste argileux. Leur gangue est habituellement le schiste, le quartz, la chaux carbonatée, la baryte sulfatée, l'ankerite; leurs minerais sont la pyrite de cuivre, le cuivre gris, le fer carbonaté, le fer oligiste, l'antimoine sulfuré, le smaltine, le nickel arsenical, l'arsen-nickelkies, la pyrite de fer et d'autres encore qui sont disséminés irrégulièrement.

Nagybánya, Felsöbanya, Kapnik, Roda, Olalaposbánya. M. Bernhard de Cotta (3) a également publié des études sur les gîtes métallifères de la Hongrie qu'il a visités récem-

(1) *Jahrbuch der K. K. geologischen Reichanstall*, 1853, X, n° 1.
(2) *Jahrb. der österreich. Geologischen Reichanstalt*, 1859, X, n° 1.—*Berg. Hütten. Zeit.*, 1860, 291.
(3) *Berg. Hütten. Zeit.* (K. R. Bornemann und Bruno Kerl), 1861, 81, 155, 173, 190.

ment. Les environs de Nagybánya, Felsöbanya, Kapnik, Roda et Olalaposbánya présentent une assez grande uniformité dans leur constitution géologique. Au-dessus des plaines s'élèvent des roches trachytiques qui, vers le bas, passent à des roches à pâte compacte et de couleur sombre, considérées par M. Breithaupt comme formant une espèce spéciale à laquelle il a donné le nom de timazite. Elles contiennent d'ailleurs de l'anorthose, de l'hornblende, du mica et quelquefois aussi du quartz. Ces roches éruptives donnent à la contrée un cachet particulier; elles ont traversé les dépôts sédimentaires qui consistent en grès ou en argile schisteuse et qui appartiennent au tertiaire éocène le plus ancien, d'après les géologues de l'Institut impérial de Vienne.

Jusqu'à présent les gîtes métallifères de la Hongrie n'ont guère été observés que dans les roches éruptives, et particulièrement dans celle nommée Timazite. A Felsöbanya, le filon principal traverse bien sur une certaine longueur l'argile schisteuse, mais cette dernière est altérée et paraît avoir été enveloppée ; en outre le filon le plus puissant y devient mince et très-pauvre. A Olalaposbánya, où un filon très-puissant est exploité par exception dans le grès tertiaire, la roche éruptive amphibolique se montre à une petite distance. Souvent la roche qui encaisse les filons a perdu sa couleur sombre ; elle est devenue blanche et douce au toucher, particulièrement lorsqu'elle a été imprégnée par de la pyrite de fer.

Quant aux gîtes métallifères, ils présentent dans chaque localité des caractères spéciaux et assez variés. A Nagybanya, le filon Kreutzberg est dirigé N.-S avec une inclinaison de 70° à 80° vers l'ouest. Sa puissance moyenne est 1 mètre, et elle s'élève accidentellement au double. C'est surtout le quartz qui a opéré son remplissage. Sa roche encaissante est feldspathique, blanche et très-imprégnée par de la pyrite de fer ; c'est de la timazite décomposée. A Vivisa le filon contient du quartz, de la chaux carbonatée, de la dolomie, de la pyrite de fer et de l'or.

A Kapnik les filons ont pour la plupart la direction du S.-O. au N.-E. ; mais ils sont très-complexes. Ils renferment surtout le quartz, le manganèse carbonaté, la galène, les pyrites, le cuivre gris, la blende phosphorescente de couleur foncée, la

blende jaune, le manganèse sulfuré, le gypse qui enveloppe des cristaux de blende, la chaux carbonatée et le jaspe rouge qui est associé à la pyrite aurifère.

A Olalaposbánya le filon Vorsehung Gottes est dirigé de l'est à l'ouest, et encaissé dans le grès. Sa puissance s'élève dans certains endroits jusqu'à 12 ou 16 mètres; mais alors il contient beaucoup de fragments de la roche encaissante. Son remplissage consiste en quartz corné et hyalin ainsi qu'en pyrites; la pyrite de cuivre y est surtout abondante. Accidentellement, il est mélangé de galène qui forme des zones alternantes avec la pyrite de cuivre et le fer spathique. On y a observé une druse qui avait 5 mètres de long sur plus de 3 mètres de large et qui était tapissée de stalactites de pyrite de fer. Lorsque le filon passe du grès dans l'argile schisteuse, il diminue de puissance et s'appauvrit. Le grès qui forme la roche encaissante a fréquemment sa couleur altérée et il a été pénétré par de la pyrite de fer qui s'y montre en petits grains. La pyrite de cuivre rend 15 à 16 livres de cuivre au quintal et 2 à 2 1/2 loths d'argent; ce dernier contient en outre 0,133 d'or.

Offenbanya. A Offenbánya, dans les sept montagnes, le micaschiste qui est la roche dominante est associé à du calcaire, lequel est traversé par un porphyre presque toujours décomposé, mais qui paraît se rapporter à la timazite. C'est ce porphyre qui est entouré par le minerai. Dans l'ancienne mine (Alte Erzstock) le gîte métallifère renferme du manganèse carbonaté, beaucoup de galène pauvre, de la blende, du manganèse sulfuré, de la pyrite de fer, du cuivre gris et quelquefois de la pyrite de cuivre. Du quartz et de la chaux carbonatée ont cristallisé dans les druses. Les minerais sont souvent en zones concentriques et affectent la forme de lentilles allongées.

Vöröspatak. A Vöröspatak se trouvent les gîtes aurifères qui sont si remarquables par leur nombre, par leur richesse, et par la variété de leurs gisements. D'après les géologues de l'Institut impérial de Vienne et d'après M. B. von Cotta, la roche la plus ancienne qui se montre dans les environs de Vöröspatak est le porphyre de Csétatj. Ce porphyre, qui est felspathique et sans mica, contient de nombreux cristaux de quartz bipyramidé et la pyrite de fer en dodécaèdre pentagonal s'y trouve abondamment disséminée. Il est souvent caverneux et surtout traversé par des veines de quartz; en outre il est aurifère

Le porphyre de Csétatj est entouré par un grès tertiaire éocène qui devient également aurifère dans son voisinage. Le grès aurifère renferme d'ailleurs des conglomérats, des tufs et quelquefois des fragments du porphyre de Csétatj; sa stratification est aussi moins nette.

Quant aux filons aurifères, ils n'ont guère plus de $0^{m},35$; leur inclinaison est variable, et quand ils se croisent ils s'enrichissent généralement. Leur remplissage consiste en quartz, en chaux carbonatée, en pyrite de fer. L'or libre ne s'y observe que très-rarement sans le secours de la loupe; le plus souvent il est très-fin et associé à la pyrite. Du reste, la pyrite a pénétré dans le grès qui encaisse les filons, et ce grès peut être exploité comme minerai de bocard jusqu'à une distance de plusieurs pieds. On a cru reconnaître que les filons sont plus riches quand la roche encaissante est d'une dureté moyenne; ils s'appauvrissent au contraire quand elle est très-tendre ou très-dure. Ils sont aussi plus riches dans le grès fin que dans le grès grossier.

Les filons pyriteux contiennent quelquefois du cuivre gris argentifère et un peu de pyrite de cuivre; en outre la marcassite s'y montre en stalactites qui recouvrent de grandes parois. Les variétés du porphyre de Csétatj, pénétrées de quartz, sont beaucoup plus riches en or que le grès; elles sont aussi traversées par une multitude de veinules très-irrégulières qui ont imprégné le porphyre lui-même.

Le grès éocène a été déposé après le porphyre, et les tuffs qu'il renferme paraissent en relation avec des éruptions porphyriques. Postérieurement ce grès a été métallisé par l'or et par la pyrite et en même temps des minéraux se sont formés dans ses fissures. C'est seulement plus tard que serait venue l'éruption du trachyte ou du timazite ainsi que celle du basalte; quant aux vallées actuelles, elles auraient encore une origine plus récente.

Nagyág. Les gîtes métallifères des environs de Nagyág ont déjà été décrits avec beaucoup de soin par MM. de Hingenau et Debreczényi. On y retrouve le grès tertiaire qui est traversé, comme précédemment, par des roches éruptives trachytiques, et c'est dans ces roches que se rencontrent les filons. Leur direction est comprise entre N.-S. et N.-O. Leur inclinaison est très-forte. Leur puissance est le plus souvent inférieure à

$0^m,1$; mais elle peut s'élever accidentellement jusqu'à 2 mètres. A leur toit ou à leur mur, on observe fréquemment une brèche qui est très-remarquable: elle est formée par une pâte foncée qui provient de la destruction des roches encaissantes et dans laquelle il y a de nombreux fragments anguleux de schiste. Cette brèche peut dépasser 2 mètres, et d'un autre côté, dans ses ramifications, elle se réduit beaucoup et elle n'est que de quelques centimètres.

Les minéraux qui ont rempli les filons sont surtout le manganèse carbonaté ou bien la dolomie et la chaux carbonatée, ou bien enfin le hornstein et le quartz. Les minerais sont essentiellement tellurés et aurifères; il y a aussi du manganèse sulfuré et de la pyrite de fer qui imprègne souvent la roche encaissante jusqu'à une grande distance. Parmi les minéraux, on peut citer le gypse avec des paillettes d'or, la chaux carbonatée, la dolomie, le manganèse carbonaté, le quartz, l'améthyste, le tellurure d'argent aurifère, le nagyagite, le sylvanite, le typite (Schrifttellur), l'or natif, l'arsenic, la pyrite de fer aurifère, le cuivre gris aurifère, la bournonite, la galène, l'antimoine sulfuré, l'hétéromorphite (Federerz), le manganèse sulfuré, la blende brune et rouge, le grünmanganerz, le réalgar et l'orpiment. Les filons de Nagyág qui contiennent les minerais de tellure ont une grande analogie avec ceux d'Offenbánya, et, dans les deux districts, ces minerais remplissent des fentes étroites qui se sont formées dans des roches éruptives amphiboliques.

Nous terminerons ce résumé des principaux travaux sur les gîtes métallifères par quelques considérations générales empruntées à l'ouvrage de M. B. de Cotta, sur lequel nous avons déjà appelé l'attention (1).

Considérations générales sur les roches métallifères.

1° Les gîtes métallifères présentent des formes qui sont encore plus variées que celles des autres roches; relativement à leurs formes, ils se distinguent en couches, en filons, en amas, en imprégnations. Relativement à leur composition, ils se subdivisent en trois groupes principaux: *a* gîtes stannifères, *b* gîtes

(1) Bernhard von Cotta. *Lehre von den Erzlagerstätten*, 2e édition 2e partie. Librairie Engelhardt, à Freiberg. — *Berg. und Hüttenmannische Zeitung*, 1861, n° 27.

complexes caractérisés par un grand nombre de minerais, *c* gîtes ferrifères. Toutefois il n'existe pas de limites bien tranchées entre ces trois groupes.

2° La distribution des gîtes métallifères ne paraît soumise à aucune loi géographique; mais elle est en relation avec certains phénomènes géologiques. Ainsi les gîtes stannifères se trouvent surtout dans les roches granitiques, ou du moins ils sont en rapport avec elles. Les gîtes aurifères s'observent le plus souvent dans les schistes cristallins, dans les roches éruptives ou dans les roches quartzeuses, tandis qu'ils sont très-rares dans le calcaire ou dans la dolomie. Les filons argentifères sont dans les schistes cristallins ou dans les roches argileuses; les minerais de plomb et de zinc qui sont pauvres en argent sont intimement liés aux calcaires dolomitiques. Les gîtes cuprifères s'exploitent souvent dans les roches amphiboliques ou chloritiques, dans le granit et dans le grès. Les minerais de fer, qui sont de tous les plus fréquents, se montrent dans les conditions géologiques et pétrographiques les plus variées, mais très-souvent ils s'observent au contact de deux roches différentes.

3° La distribution des minerais dans les gîtes métallifères est généralement inégale; elle dépend du niveau et de la puissance du gîte ainsi que de la roche encaissante et de quelques circonstances encore inconnues.

4° L'âge des gîtes métallifères est difficile à fixer, surtout lorsqu'ils ne sont pas en couches. On est d'ailleurs certain, par ceux dont l'âge peut être déterminé, qu'ils appartiennent à des époques très-différentes; que leur composition minéralogique ne permet de tirer aucune conclusion sur leur âge; que dans des contrées diverses, ils sont très-souvent semblables, bien que formés à des époques très éloignées; tandis qu'ils sont au contraire très-différents, bien qu'appartenant à la même époque; qu'enfin l'histoire de la terre ne permet pas d'établir un âge déterminé pour les métaux. Il est bien vrai que les gîtes stannifères paraissent généralement les plus anciens et les gîtes composés d'âge moyen, tandis que beaucoup de gîtes ferrifères appartiennent aux époques géologiques les plus modernes; mais d'après M. B. de Cotta, la différence d'âge de ces groupes principaux de minerais n'est guère qu'apparente, et elle doit plutôt être attribuée à ce qu'ils ne se sont pas formés au même niveau.

5° Tous les gîtes métallifères offrent une concentration locale de minerais dont les éléments étaient sans doute répandus beaucoup plus uniformément dans la masse de la terre. Pour la plupart d'entre eux, cette concentration paraît avoir eu lieu par des dissolutions aqueuses et pendant de très-longues durées. En outre, les minéraux qui constituent, soit les filons métallifères, soit les amas ou les imprégnations, se sont généralement formés à l'abri de l'atmosphère, dans l'intérieur de la terre et avec le concours d'une pression et d'une chaleur plus grandes qu'à sa surface; par conséquent les gîtes métallifères ont une origine hydroplutonique.

Enveloppement des minéraux.

M. Schéerer (1) a signalé plusieurs cas remarquables qu'offre l'enveloppement des minéraux. Les beaux cristaux qui proviennent d'Arendal, tels que l'épidote, le grenat, l'idocrase, l'hornblende, l'augite, le feldspath, se trouvent presque tous vers la limite du gneiss avec le calcaire saccharoïde. Ordinairement ils sont entièrement enveloppés par le calcaire et d'un autre côté ils peuvent l'envelopper lui-même ; c'est, par exemple, ce que M. Schéerer a observé pour le feldspath. Ainsi, un beau cristal de feldspath d'Arendal enveloppait une proportion notable du calcaire noir et grenu au milieu duquel il s'était formé; il renfermait en outre de l'épidote ainsi que du quartz hyalin. De même le grenat enveloppe très-souvent du calcaire saccharoïde. Ces phénomènes ont été décrits par M. Schéerer sous le nom de périmorphoses (*Kernkrystal*); ils peuvent d'ailleurs s'expliquer facilement par une cristallisation simultanée (2).

M. Nœggerath (3) a observé des lames de mica qui enveloppent des cristaux complétement aplatis de tourmaline et de grenat.

M. E. Söchting (4) a fait des recherches très-étendues qu'il a réunies dans un ouvrage spécial dans lequel il traite de l'enveloppement des minéraux. Il mentionne d'abord les travaux qui ont été publiés précédemment sur le même sujet, notamment ceux de MM. G. Leonhard, Blum, Seyfert et Söchting. Ensuite il dresse un catalogue dans lequel les minéraux sont rangés par ordre alphabétique, et il indique les divers minéraux qui sont enveloppés par chacun d'eux ; il décrit avec détail les circonstances de leur gisement ; il joint à ses propres observations, qui sont très-nombreuses, celles de plusieurs minéralogistes ou géologues. Les principaux résultats des recherches de M. Söchting peuvent être résumés dans le tableau suivant, qui est dressé d'après la classification de M. J. Dana, et qui donne en bloc pour chaque famille, d'une part les minéraux enveloppants et d'autre part les minéraux enveloppés.

(1) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1860, 350. — *Berg und Hüttenmänn. Zeitung*, 1860, 123.

(2) Delesse. *Recherches sur les pseudomorphoses. Annales des mines*, 1859 XVI, 317.

(3) Dr E. Sochting. *Die Einschlüsse von Mineralien : Freiberg*, 1860

(4) *Neues Jahrb. v. Leonhard*, 1860, 442.

	MINÉRAL ENVELOPPANT.	MINÉRAL ENVELOPPÉ.
Corps simples	Or, cuivre; soufre, carbone (Diamant).	Or, Argent, Mercure, cuivre, bismuth, arsenic; Soufre, carbone (Diamant, graphite).
Sulfures, arséniures	Réalgar, Argent antimonial (Discrasite), Galène, Blende, rite magnétique, Pyrite de fer, Smaltine (Chloanthite, kobalt, Tesseralkies), Pyrite arsenicale (Cobaltarsen Cobalt gris, Covelline (Cantonite), Molybdène su Cuivre gris, Harrisite, pyrargyrite.	Réalgar, Orpiment, Bismuthine, Antimoine sulfuré, argent sulfuré, Galène, manganèse sulfuré, blende, Cuivre sulfuré, Stromeyerite (Silberkupfer glanz), Cinabre, Millerite, pyrite magnétique, Breithauptite (antimonnickel), Pyrite de fer, Smaltine, Cobalt gris, marcasite, Mispickel, Molybdène sulfuré, Nagyagite (Blœttertellur), Phillipsite, Cuivre gris (Ténantite), Hétéromorphite (Federerz), Feuerblende, Harrisite, pyrite de cuivre, Stéphanite (Melanglanz), Aikinite (Nadelerz), Plagionite, pyragyrite, Gersdorffite (tombazite), Zinkenite.
Fluorures, Chlorures	Sel marin, Chaux fluatée, Cérasite (Bleihornerz).	Sel marin; Chaux fluatée.
Oxydes	Corindon, Quartz, Hématite, Martite, Fer oxydulé, Brook rutile, Zinc oxydé, Etain oxydé, Cymophane, Spinelle nite, pléonaste, Dysluite). — Diaspore.	Corindon, quartz, anatase, Brookite, Rutile (Sagenite), Hématite, Fer oxydulé, Fer chromé, Pyrolusite, Etain oxydé, Bismuth oxydé, Cymophane (Alexandrite), Diaspore, limonite, Gœthite, manganite, psilomélane, wad.
Silicates	Orthose (Adulaire, Sanidine), Albite (péricline), anor antophyllite, Pyroxène (Augite), axinite, Emeraude, zite, Cancrinite, Diallage, Dichroïte, Dipyre, Disthène, Epi mica (lépidolithe), grenat, Haüyne, Helvine, Amphi (hornblende), Kokscharowite, Hypersthène, Idocrase, labr dor, lapis lazuli, amphigène, méionite, mélilite, Néphéli oligoclase, peridot, orthite, paralogite, phénakite, Sod staurotide, topaze, triphane, tourmaline, paranthine (We nerite), Zircon.	Orthose (adulaire, sanidine), albite, labrador, akmite, amphibole (hornblende, amianthe, strahlstein, asbeste), Mica (astrophyllite, Lépidolite), Pyroxène (augite, Diopside), axinite, Disthène (Bamlite), Emeraude, Diallage, Epidote, Euclase, grenat, Pyrope, Haüyne (Nosean), hypersthène, Idocrase, Amphigène, liévrite, mélilite, Néphéline, Peridot, Orthite, Staurotide, topaze, tourmaline, paranthine (Wernerite), Wollastonite, Zircon.
Silicates hydratés	Apophyllite, Bergmannite, Chabasie, chlorite, Datholite, lunite, harmotôme, heulandite, calamine, laumonite, pe nine, Phillipsite, praséolithe, prehnite, stilbite, thomso	Analcime, apophyllite, chabasie, chlorite, stilbite (Desmine), Gmelinite, terre verte, hislopite, carpholithe, calamine, mésotype, métachlorite, œrstedite, pinite, poonalithe, prehnite, ripidolithe, argile (steinmark), talc, vorhauserite.
Titanates, tungstates	Plomb chromaté, Scheelite, Wolfram. Ilménite, Sphène.	Ilmenite (Chrichtonite, Isérine, Fer titané), Sphène, polykrase, Uranotantale.
Molybdates, chromates	Analcime, OEschynite, pyrochlore, vanadinite.	Columbite, pyrochlore (microlite), wolfram, scheelite, wulfenite (plomb molybdaté.)
Sulfates, borates	Boracite, baryte sulfatée, Célestine, plomb sulfaté, — gyp Römérite, Goslarite (Zink vitriol).	Rhodizite; anhydrite, baryte sulfatée; brongniartine, célestine, — gypse, misy, couperose (Eisenvitriol).
Phosphates, Arséniates	Apatite, pyromorphite, xénotime. — Euchroïte.	Apatite, Cryptolithe, Xénotime, — Uranite (Kalkuranite), olivenite, erythrine (Kobaltblüthe).
Carbonates	Aragonite, chaux carbonatée, gaylussite, bitterspath, Brew rite. Dolomie, magnésie carbonatée, fer carbonaté, man nèse carbonaté, plomb carbonaté, zinc carbonaté.	Aragonite, bitterspath, braunspath, dolomie, fer carbonaté, chaux carbonatée, magnésie carbonatée, mesitinspath; — azurite, malachite.
Matières organiques	. . . . .	Anthracite, houille, lignite, asphalte, humboltite; dissolutions diverses. Corps organisés.
Roches	. . . . .	Lave ordinaire et basaltique; granite; roche siliceuse, argile.

Les résultats de M. E. Söchting sont généralement d'accord avec ceux obtenus par M. Delesse sur l'enveloppement des minéraux. (*Annales des Mines*, 1859, t. XVI, p. 317. Recherches sur les pseudomorphoses.)

M. E. Söchting cherche ensuite à apprécier les conditions dans lesquelles se sont formés les minéraux dont il a étudié l'enveloppement; il remonte à l'origine de ces divers minéraux et des roches qu'ils constituent. Les développements circonstanciés dans lesquels il entre à ce sujet ne sont pas susceptibles d'être résumés et devront être lus dans l'ouvrage lui-même. M. E. Söchting fait d'ailleurs observer en terminant que, si l'on excepte un petit nombre de cas pour lesquels l'origine ignée est évidente ou très-probable, l'origine aqueuse doit généralement être admise pour les minéraux qui ont donné lieu à l'enveloppement.

Pseudomorphisme. Écosse.

M. Heddle (1) a complété les pseudomorphoses données par MM. Greg et Lettsom pour les îles Britanniques en faisant connaître celles de l'Écosse. Le tableau suivant en présente le résumé, et les pseudomorphoses qui seraient nouvelles sont marquées d'un astérisque.

(1) *Philosophical Magazine*, 1859, XVII, 42.

MINÉRAL PSEUDOMORPHIQUE.	MINÉRAL PSEUDOMORPHOSÉ.
Galène.	Pyromorphite.
Marcasite.	Houille.
Fer oxydulé.	Pyrite*.
Hématite.	Pyrite, chaux carbonatée.
Minium.	Galène.
Limonite.	Pyrite, marcasite.
Wad.	Chaux carbonatée.
Quartz.	Galène, Psilomélane*, Stilbite, Baryte sulfatée, Anglésite*.
Grenat.	Épidote. *
Stéatite.	Pectolite, Analcime, Natrolite*, Baryte sulfatée.
Serpentine.	Fer chromé*.
Chlorite.	Grenat.
Kammererite.	Talc*.
Terre verte.	Chaux carbonatée.
Pectolite.	Paranthine*, Analcime.
Chrysocolle.	Galène, Plomb carbonaté.
Prehnite.	Laumonite, Analcime, Scolezite.
Analcime.	Laumonite, Stilbite, Chaux carbonatée.
Calamine.	Vanadinite
Vanadinite.	Galène.
Baryte sulfatée.	Analcime.
Chaux carbonatée.	Galène.
Plomb carbonaté.	Galène.

Parmi les pseudomorphoses qui sont mentionnées dans ce tableau, la serpentine est si habituellement associée au fer chromé, le fer oxydulé à la pyrite, qu'on peut craindre un enveloppement des deux minéraux produisant une apparence de pseudomorphose. La même remarque s'applique au grenat et à l'épidote qui s'accompagnent si souvent, et en général aux silicates qui s'enveloppent mutuellement. C'est seulement lorsqu'un minéral présentait originairement une forme cristalline bien caractéristique et lorsqu'il a été complétement remplacé par un autre, qu'on doit admettre l'existence d'une pseudomorphose : or un simple examen du minéral ne saurait suffire; et pour démontrer une pseudomorphose, particulièrement pour les silicates, il serait le plus souvent nécessaire d'avoir recours à l'analyse (1).

(1) Delesse. *Recherches sur les pseudomorphoses.* — *Annales des mines*, 1859, XVI.

Bois pétrifié.

M. Göppert (1) a déjà décrit les bois pétrifiés, qui proviennent du terrain houiller de la Silésie, notamment l'*araucarites Brandlingii*, à Aue, près de Valdenbourg, et l'*araucarites Rhodeanus* près de Neurode. Plus récemment, il a constaté, avec M. Völkel, l'existence de toute une forêt pétrifiée qui se trouve dans le grès houiller près du château de Hausdorf.

M. P. Reinsch (2) a analysé un bois pétrifié qui provenait du calcaire à monotis, appartenant au lias supérieur de Heroldsberg en Franconie. C'est une masse gris brunâtre foncée qui a peu de consistance et une densité de 2,394.

CaO,CO^2	Fe^2O^3	PO^5 et SO^3	Matières organiques.	Somme.
80,95	13,46	traces.	5,54	99,95

Le ligneux a été presque entièrement remplacé par de la chaux carbonatée et par de l'oxyde de fer. Une pseudomorphose analogue s'observe quelquefois dans les tufs volcaniques de l'Auvergne (3).

Production de pseudomorphoses.

M. H. Clifton Sorby (4) a étudié l'action prolongée de la chaleur et de l'eau sur différentes substances. Les résultats qu'il a obtenus sont remarquables, et il est parvenu à reproduire diverses pseudomorphoses (5).

Métamorphisme. Décomposition des roches. Trachyte attaqué par des vapeurs acides.

On nomme *Bianchetto* à la solfatare de Pouzzoles une masse blanche terreuse qui forme le sol et les parois inférieures de la solfatare; c'est un produit de décomposition du trachyte par des fumerolles de vapeur chaude, accompagnée d'acide sulfureux et d'hydrogène sulfuré. D'après M. Rammelsberg (6), ce produit consiste essentiellement en silice amorphe qui est imprégnée par de l'eau, par de l'acide sulfurique libre et par de petites quantités de sulfates.

SiO^3	$Al^2O^3,3SO^3$	CaO,SO^3	KO,SO^3	SO^3	Al^2O^3	MgO	HO	Somme.
66,94	1,27	0,44	2,48	5,52	1,40	0,91	21,04	100,00

L'analyse d'une masse qui recouvrait les parois d'une cavité voisine des fumerolles a donné à M. Rammelsberg :

$Al^2O^3,3SO^3$	FeO,SO^3	MgO,SO^3	NaO,SO^3	KO,SO^3	SO^3	HO	Somme
18,35	30,69	7,05	1,68	0,36	10,56	31,31	100,00

(1) *Schlesische Wochenschrift*, 1859, n° 43.—*Berg. Hüttten. Zeit.*, 1860, 380.
(2) *Jahresb. v. Kopp*, 1859, 827.
(3) Delesse. *Etudes sur le métamorphisme*, in-8, 1852, 21.
(4) *Comp. rend.*, 1860, L, 990.
(5) *Ann. d. mines*, 1859, XVI. *Recherches sur les pseudomorphoses.*
(6) *Jahresb.*, 1859, 832.—*Zeitschrift d. deutschen geolog. Gesellsch.*, XI, 446.

Ces divers produits de la décomposition du trachyte par les fumerolles contiennent des sulfates terreux et alcalins; par conséquent l'alunite qui est associée aux roches trachytiques s'est très-vraisemblablement formée de la même manière.

Silicates décomposés par des dissolutions salines.

M. H. Eichhorn (1) a fait des expériences sur la décomposition des silicates par les dissolutions salines. Intéressantes par elles-mêmes, ces expériences le sont surtout parce qu'elles jettent quelque jour sur la formation et sur la décomposition des minéraux, ainsi que sur la chimie géologique et agricole. Lorsqu'après avoir été bien pulvérisée, une zéolite, comme la chabasie, est mise en digestion avec une dissolution étendue de chlorure de potassium, de sodium, d'ammonium, ou enfin de chlorures alcalino-terreux, ou bien de sulfate de magnésie, de carbonate de soude et d'ammoniaque, on trouve que les éléments basiques de ces sels se combinent avec le silicate, tandis que de la chaux passe dans la dissolution.

Les chlorures alcalins agissent au bout de deux ou trois jours. Les chlorures de zinc et de strontium paraissent d'abord inertes; mais au bout de douze jours on reconnaît de la chaux dans la dissolution. Le chlorure de magnésium agit encore plus lentement.

4 grammes de chabasie pulvérisée ayant été mis en digestion avec 4 grammes de chlorure de sodium dissous dans 400 grammes d'eau, M. Eichhorn a déterminé la composition originaire de la chabasie (I), puis celle de ce même minéral au bout de dix jours (II).

	SiO^3	Al^2O^2	CaO	KO	NaO	HO	Somme.
I.	47,44	20,69	10,37	0,65	0,42	20,18	99,75
II.	48,31	21,04	6,65	0,64	5,40	18,33	100,37

On voit que la moitié de la chaux de la chabasie a été remplacée par de la soude, et, en même temps, il y a eu perte d'eau. La dissolution ne contenait d'ailleurs que de la soude, de la chaux, et du chlore dont la quantité n'avait pas varié. Lorsqu'on traite de la même manière la chabasie par du chlorure d'ammonium étendu, formé en mettant 10 grammes de ce sel dans 500 grammes d'eau, on reconnaît au bout de dix jours

(1) *Jahresb. v. Kopp*, 1858, 141. — Poggendorff. *Annalen*, 1858, n° 9. — *Americ. J.*, 1859, XXVIII, 74; S. W. Johnson. *On some points of agricultural science.*

que le minéral est altéré et qu'il contient 3,33 p. c. d'ammoniaque. Mise en digestion pendant vingt et un jours, la chabasie chauffée à 212°, a perdu 6,94 d'ammoniaque et en outre de l'eau. Avec le carbonate de soude ou d'ammoniaque on obtient à peu près les mêmes résultats.

M. Eichhorn a constaté de plus, que la chabasie artificielle à base de soude reprend sa chaux quand elle est mise en digestion avec une dissolution étendue de chlorure de calcium. Lorsque la natrolite est traitée par une dissolution étendue de chlorure de calcium, sa soude ne se laisse d'ailleurs pas déplacer par la chaux.

Quoiqu'il en soit, pour certains hydrosilicates comme la chabasie, toutes les bases peuvent se remplacer mutuellement; il suffit pour cela que les dissolutions qui les contiennent agissent pendant un temps suffisamment long. Il est facile de comprendre aussi pourquoi, dans ces minéraux, la proportion d'eau est très variable. Ces résultats expliquent également comment certaines substances minérales peuvent prendre de l'ammoniaque. Les eaux souterraines renferment du reste des chlorures et des carbonates alcalins, et particulièrement des sels ammoniacaux; par suite, elles tendront à modifier la composition des minéraux les plus facilement attaquables, et surtout celle des hydrosilicates. Bien que leur action soit très-faible, elle s'exerce pendant d'énormes durées et elle est exaltée par la chaleur à une petite profondeur dans l'intérieur de la terre, en sorte qu'elle doit produire, à la longue, des effets de décomposition très-importants (1).

Calcaires devenus caverneux et changés en calcaire magnésien ou en dolomie.

M. W. Haidinger (2) a appelé l'attention sur des cailloux à structure caverneuse qui se trouvent dans les montagnes Leitha près de Lauretta et à Szlanipotok près d'Agram en Croatie. Le gisement de ces cailloux a été étudié à Lauretta par MM. Czjzek et de Zepharovich, et leur analyse a été faite par M. C. de Hauer. Ils forment un poudingue calcaire stratifié, ayant environ $0^m,10$ d'épaisseur, qui est lui-même compris entre deux couches de calcaire tertiaire. Un ciment calcaire de couleur grisâtre réunit fortement tous les cailloux.

(1) *Action des alcalis sur les roches.* — *Bulletin de la Société géologique* (2e s.), XI, 127.

(2) *Die Hohlen geschiebe aus dem Leithagebirge.* Académie des sciences de Vienne, 17 juillet 1856.

Quant à ces derniers, ils ont une couleur noirâtre ou plus foncée que la pâte et ils atteignent rarement la grosseur d'un œuf. Leur intérieur a disparu. Quelques-uns sont celluleux; d'autres ont leurs cavités tapissées de chaux carbonatée. Il en est qui sont très-amincis et même presque entièrement détruits, tandis que d'autres sont devenus simplement rugueux à l'intérieur et n'ont pas été altérés à l'extérieur. La dissolution de ces cailloux marche du centre vers la circonférence.

Voici d'après M. Ch. de Hauer la composition des différentes parties de la roche :

I. Pâte qui cimente les cailloux caverneux; c'est un calcaire formé de petits grains calcaires, gris jaunâtres, compactes, translucides, réunis par des lamelles de chaux carbonatée.
II. Caillou gris foncé, grenu et cristallin.
III. Croûte extérieure d'un caillou grisâtre, dont l'intérieur est devenu pulvérulent.
IV. Poudre gris clair prise à l'intérieur d'un caillou caverneux.

	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Fe^2O^3	Résidu insoluble.	Somme.
I.	98,00	0,50	traces.	1,29	99,79
II.	98,33	0,80	»	0,42	99,55
III.	87,26	12,00			99,26
IV.	62,52	36,75		traces.	99,27

Ces analyses montrent bien que les cailloux du conglomérat de Lauretta sont d'autant plus caverneux qu'ils renferment plus de magnésie. Leur chaux a été dissoute et en partie remplacée par de la magnésie. Ce métamorphisme peut être attribué à une infiltration d'eau chargée d'acide carbonique; et, comme l'a remarqué M. Redtenbacher, d'après les équivalents, il doit alors se dissoudre plus de carbonate de chaux que de carbonate de magnésie. Le carbonate de chaux enlevé à l'intérieur des cailloux caverneux se retrouve d'ailleurs à l'état de chaux carbonatée dans le calcaire arénacé qui les enveloppe et il forme son ciment.

Quant à la cause pour laquelle la surface du caillou est souvent bien conservée, tandis que son intérieur a été dissous, elle est plutôt mécanique que chimique; car on conçoit que les pressions qui s'exercent immédiatement à la surface du caillou puissent la protéger contre la dissolution, bien que cette dernière ait cependant lieu à l'intérieur.

M. Daubrée (1) a également observé des cailloux caver-

(1) *L'Institut.*, 28 mars 1860, 111.

neux près de Goersdorf (Bas-Rhin). Ces cailloux qui sont calcaires proviennent du muschelkalk, et appartiennent à un poudingue miocène. Aux environs de Doulles près d'Épinal, M. Daubrée indique aussi des cailloux quartzeux qui sont dans le grès vosgien et qui présentent une structure caverneuse.

Enfin M. G. Würtemberger (1) a encore constaté l'existence de cailloux caverneux qui étaient originairement calcaires, mais qui ont été changés en dolomie. Ils appartiennent à un conglomérat qui se trouve à la partie inférieure du grès bigarré à Frankenberg, et ils sont recouverts par des couches dolomitiques. Leur métamorphisme en dolomie a eu lieu seulement à la partie supérieure du conglomérat, et les cailloux de la partie inférieure sont restés calcaires.

Spilite et calcaire. M. Lory (2) a étudié dans les alpes du Dauphiné le métamorphisme qui s'observe au contact du spilite avec le calcaire du lias. A l'est du vallon de Navette, le spilite présente un filon-couche parallèle à la stratification du lias; et le calcaire à son contact est décoloré et pénétré de silice; de gris il est devenu blanc veiné de rouge et il a été changé en marbre rubanné. Un filon de quartz y règne même parallèlement à la salbande de spilite; il contient des pyrites de cuivre ainsi que de fer et il constitue le gîte de l'Echaillon (3).

Feldspathisation. M. A. Knop (4) a observé des cristaux d'orthose qu'il regarde comme formés par voie humide. Ils sont dans le grès houiller et dans le poudingue porphyrique d'Oberwiesa, ainsi que dans l'arkose de Zeisigwalde; ils se montrent entre les faces de séparation du grès et dans les interstices des cailloux roulés. Des faits semblables ont été signalés par M. Naumann et aussi par M. Delesse dans des roches stratifiées métamorphiques des Vosges; en outre l'argilite du grès rouge qui recouvre le terrain houiller de Ronchamp présente des cavités qui sont tapissées même de cristaux d'orthose.

Origine des roches. Parmi les travaux ayant pour but l'origine des roches, men-

Tourbe.

(1) *N. Jahrb. v Leonhard*, 1859, 153.
(2) *Description géologique du Dauphiné*, 1re partie, 203.
(3) Delesse. *Etudes sur le métamorphisme des roches*, 1858. In-8, 240.
(4) *Beiträge zur Kentniss der Steinkohlen-Formation und der Rothliegenden in Erzgebirgischen Bassin* (avec une carte géologique et coupes). — Stuttgart, 1859, 65.

tionnons ceux de M. Vohl (1) qui a étudié la formation de la tourbe. Il a recherché notamment de quelle manière varient les substances minérales contenues dans les mousses qui la produisent; dans ce but il a analysé comparativement les cendres de ces mousses (*sphagnum commune et acutifolium*) et celles de la tourbe elle-même.

	KO	NaO	$NaCl^2$	CaO	MgO	Fe^2O^3	Al^2O^3	PO^5	SO^3	SiO^3	Somme.
I.	8,02	1,84	19,92	3,17	4,92	63,5	5,89	1,06	4,33	41,69	114,44
II.	1,93	0,99	0,06	31,08	2,11	15,07	33,94	4,45	6,83	3,55	100,01

Comme le montrent ces analyses, il existe une grande différence entre les cendres des mousses et celles de la tourbe. Tandis que les premières constituent jusqu'à 4 p. 100 des mousses, les secondes représentent seulement 0,92 de la tourbe; par suite le végétal contient plus de substances minérales que la tourbe qu'il engendre. En outre, les alcalis ont beaucoup diminué dans la tourbe, et le chlorure de sodium a même disparu presque entièrement; la proportion de silice a aussi été considérablement réduite. Quant à l'alumine et à la chaux, elles ont au contraire augmenté.

Une expérience de contrôle faite sur de la mousse mise en digestion dans de l'eau a montré d'ailleurs qu'elle perd surtout son sel marin, ses alcalis et sa silice. Ces recherches nous expliquent bien pourquoi les cendres de tourbe ne contiennent presque pas d'alcalis; elles montrent en outre que les matières minérales contenues dans les végétaux subissent des métamorphoses aussi bien que leurs matières organiques. Du reste, il en est de même pour les animaux fossiles (2).

Houille. M. Lesquereux (3) a cherché à apprécier les conditions dans lesquelles s'est formée la houille; il s'est également occupé des roches qui l'accompagnent, c'est-à-dire du schiste argileux inférieur et supérieur, du calcaire carbonifère et du grès houiller. Il observe que l'existence d'une houille d'origine marine lui paraît extrêmement peu probable; car, si l'on considère la tourbe, elle n'est jamais formée uniquement par des fucoïdes ou par des plantes marines. Et quant à la houille, M. Lesquereux n'a pas encore pu y constater des traces certaines d'origine marine.

(1) *Société chimique de Paris*, juin 1859, 289. — *Annalen der Chemie und der Pharmacie*, CIX, 185 (XXXIII, nouvelle série).
(2) Delesse: *Azote et matières organiques dans l'écorce terrestre*, 59.
(3) *Mining Magazine*, février 1860. — *Berg. Hütt. Zeit.*, 1860, 353.

M. J. W. Dawson (1) a fait, d'un autre côté, des recherches sur la structure végétale et sur l'origine de la houille ; les conclusions générales auxquelles il est arrivé peuvent se résumer ainsi :

1° Les plantes qui ont formé la houille sont surtout les sigillariées et les calamites, particulièrement les premières.

2° Le ligneux des tiges de sigillariées, de calamites, de conifères, ainsi que le tissu scalariforme des tiges de lepidodendron et d'ulodendron, le tissu ligneux et vasculaire des fougères se montre principalement à l'état de charbon minéral. L'écorce de ces plantes, certaines portions de leurs bois ainsi que des végétaux herbacés ont été submergés avant que leur décomposition eût lieu par l'atmosphère; ces substances ont alors donné une houille compacte, présentant différents degrés de pureté, et l'écorce, à cause de sa grande résistance à l'infiltration aqueuse a donné la houille la plus pure. La proportion de charbon minéral et de houille dépend essentiellement de la décomposition subie par la plante dans l'atmosphère, et par suite de l'humidité du sol marécageux sur lequel elle était accumulée.

3° La structure de la houille s'accorde avec l'hypothèse qu'elle résulte d'une végétation sur place et non pas d'un transport de plantes. Les sigillariées et les calamites qui étaient élevées et sans branches, qui portaient seulement des feuilles linéaires et rigides, devaient former des bois très-épais et des jungles, dans lesquels les tiges se réduisaient après leur mort à une enveloppe d'écorce, tandis que les fragments de bois décomposé étaient entraînés par les plus petites inondations, ou même par des pluies abondantes qui les répandaient en couches à la surface et les accumulaient graduellement au milieu d'un amas de racines, de feuilles mortes et de plantes herbacées.

4° Cette formation de la houille devait être fort lente. Car le climat de l'époque houillère était tel que, dans les véritables conifères de cette époque, les cercles de croissance ne sont pas plus larges ou beaucoup moins distincts que ceux de leurs congénères du Nord. Les sigillariées et les calamites n'étaient pas non plus, comme on l'a souvent supposé, des plantes ayant

(1) *Philosophical Magazine* (4e s.), XVIII, 308. — *Geological Society*, 23 février 1859.

un développement très-rapide. Les calamites notamment, sont très-celluleux à l'intérieur; mais leur axe ligneux est très-dense, leur écorce extérieure est presque indestructible, et leurs feuilles sont rares et rigides, ce qui n'indique pas un développement rapide. Quant aux sigillariées, les variations des cicatrices dans les différentes parties du tronc, l'intercalation de nouvelles côtes à la surface, les marques transverses laissées aux différentes époques de leur croissance, montrent bien que plusieurs années au moins étaient nécessaires au développement de troncs d'une grosseur moyenne. Les énormes racines de ces troncs, et les conditions dans lesquelles se trouvaient les marais houillers, les préservaient d'ailleurs du danger d'être renversés. Aussi les sigillariées devaient-elles fournir une longue suite de générations, qui ont péri seulement de mort naturelle, chacune d'elles se développant aux dépens de celles qui l'avaient précédée. On restera certainement au-dessous de la vérité, en admettant qu'une couche de houille pure, ayant un pied d'épaisseur, résulte de la végétation sur place d'une quarantaine de générations de sigillariées et de forêts qui se sont continuées pendant plusieurs siècles. En outre, il est évident qu'une immense quantité de tissu parenchymateux et même de bois a été détruite; de sorte que beaucoup de couches de houille ne représentent plus qu'une très-minime partie de la matière végétale qui a été produite.

M. Dawson observe en terminant, que ces remarques s'appliquent aux couches de houille qui appartiennent au milieu du terrain houiller; mais il est porté à croire que dans les couches qui sont à la base de ce terrain, les nœggerathiées et les lepidodendrons sont plus abondants. Il a reconnu notamment, qu'une houille très-ancienne et appartenant même au terrain dévonien du Canada, était principalement formée de lycopodiacées du genre psylophyton (1). Dans les couches supérieures du terrain houiller, il existe sans doute des variations analogues, et elles ont d'ailleurs été constatées en Silésie par M. Gœppert ainsi que dans l'Ohio par M. Lesquereux.

Asphalte.

M. C. P. Wall (2) a étudié le gisement et l'origine de l'as-

(1) *Philosophical Magazine* (4e s.), XVII, 147.— *Geological Society*, 5 janvier 1859.

(2) *Geolog. Society*, XVI, 467. — *Sur la géologie d'une partie du Venezuela et de la Trinité.* (Communiqué par Sir Roderick Murchison.)

phalte dans le Venezuela et dans l'île de la Trinité. Dans cette dernière île, l'asphalte est invariablement disséminé dans les couches les plus récentes du golfe de Paria qui paraissent être miocènes. Quand il est à la place dans laquelle il s'est formé, il se trouve uniquement dans des schistes particuliers qui contenaient originairement une certaine proportion de débris végétaux. La matière organique a subi une décomposition spéciale qui a produit du bitume au lieu du lignite qu'elle donne ordinairement dans ce terrain. Cette transformation ne peut être attribuée, ni à la chaleur, ni à une distillation; elle est due simplement à des réactions chimiques qui s'opèrent à la température ordinaire et dans les conditions normales du climat. Du reste, le gisement de l'asphalte dans les couches démontre complétement que son origine est bien celle qui vient d'être indiquée; c'est aussi ce qui résulte de l'examen de nombreux spécimens en voie de transformation dans lesquels on reconnaît la structure végétale qui est plus ou moins oblitérée. Si l'on dissout le bitume, on distingue très-bien les cellules végétales qui ont été corrodées et qui présentent des formes qu'on ne retrouve dans aucun autre bois minéralisé. La plasticité et la légèreté de l'asphalte expliquent d'ailleurs pourquoi il peut être déversé à la surface du sol; c'est particulièrement ce qui a lieu quand le sol a la forme d'un bassin, et c'est à ce phénomène qu'il faut attribuer l'accumulation de l'asphalte au lac de Poix dans l'île de la Trinité Quelquefois l'émission consiste en un liquide dense et huileux dont les parties volatiles s'évaporent peu à peu, en sorte qu'il reste un résidu solide.

L'asphalte est très fréquent dans la province de Maturin dans le Venezuela, et l'on prétend qu'il existe aussi dans les autres districts des Llanos; il se retrouve d'ailleurs en beaucoup plus grande quantité près du golfe de Maracaybo, sur les côtes nord de la Nouvelle-Grenade et dans la vallée de la Magdelaine où il provient sans doute des mêmes couches tertiaires.

Sel gemme. MM. Tasche et Reichardt(1) ont présenté quelques considérations théoriques pour expliquer la formation du sel gemme, en masses pures et continues, aussi puissantes que celles de

(1) Tasche. *Bilder auf der Reise zur Naturforschersammlung in Königsberg, in Herbst*, 1860.
E. Reichardt. *Verdandlungen der Kaiserl. Leopoldinisch-Carolinischen deutschen Academie der Naturforscher.* — Jena, 1860.

Strassfurt où elles ont été traversées sur plus de 270 mètres d'épaisseur. L'hypothèse la plus probable paraît être celle adoptée déjà par sir Charles Lyell d'un dépôt produit par l'évaporation de mers intérieures engendrées elles-mêmes par le retrait de l'Océan. De Bibra qui s'est occupé de l'analyse de différentes eaux de mer a constaté qu'elles contiennent environ 2,5 à 3 p. 100 de chlorure de sodium, 0,2 de sulfate de chaux, autant de sulfate de magnésie et de sulfate de potasse, ainsi que 0,4 de chlorure de magnésium, avec des traces de bromures de sodium. Elles renferment, comme l'on sait, très-peu de carbonate de chaux. D'un autre côté les recherches de MM. G. Rose et d'Usiglio ont fait connaître dans quel ordre se déposent les sels tenus en dissolution dans l'eau de mer. D'après M. d'Usiglio, lorsque l'eau de mer est concentrée de manière à marquer 7°,10 de l'aréomètre de Baumé, il se dépose un peu d'oxyde de fer et la plus grande partie du carbonate de chaux; à 16°,75 peu de carbonate de chaux et plus de 0,5 p. 100 du sulfate de chaux; à 26°,25 du gypse, du sel marin, ainsi que des traces de sulfate de magnésie et de chlorure de magnésium; enfin, à 27 degrés c'est le dépôt du sel marin qui est le plus abondant. Parmi les produits résultant d'une évaporation plus prolongée, on obtient un dépôt cristallin ayant la composition de la carnallite, et quant au chlorure de magnésium il se dépose le dernier. Que l'on suppose maintenant une eau de mer marquant 2.5 et donnant par l'évaporation 3 p. 100 de parties solides, un bassin marin présentant seulement une profondeur de 1.000 pieds déposera des couches salines ayant déjà les épaisseurs suivantes :

	pieds.
Sel marin	9,6
Gypse, sulfate de magnésie et sulfate de potasse	0,8
Chlorure de magnésium	1,6
	12,0

Mais on admet pour la mer une profondeur moyenne de 15.000 pieds, en sorte qu'il est facile de comprendre comment il a pu se former des couches de sel ayant une épaisseur comparable à celles de Strassfurt. Certaines mers ont même une profondeur supérieure à 25.000 pieds; en outre les eaux salées s'évaporant dans un bassin fermé sont quelquefois plus chargées que celles de la mer, parce qu'elles proviennent de la dissolution de lentilles de sel préexistantes, comme M. L. Ville l'a

constaté en Algérie. Ajoutons enfin que le retour de la mer sur la même place, sa séparation dans des bassins fermés et son évaporation ont pu se produire à plusieurs reprises. Ces diverses circonstances permettent donc d'expliquer comment le sel gemme s'est déposé en couches d'une grande épaisseur.

Gypse et dolomie.

M. T. St. Hunt (1) a donné une explication de la formation du gypse et de la dolomie. Les points sur lesquels il appelle l'attention sont 1° la production de sulfate de chaux et de bicarbonate de magnésie par la réaction du bicarbonate de chaux sur une solution de sulfate de magnésie, puis leur dépôt à l'état de gypse et d'hydrocarbonate de magnésie par suite de l'évaporation ; 2° l'union directe, sous certaines conditions, de ce carbonate de magnésie avec le carbonate de chaux pour former un carbonate double qui est la dolomie.

Plus que toutes les autres roches, le gypse et la dolomie ont eu le privilége d'exercer l'imagination des géologues et on leur a souvent attribué une origine métamorphique, le gypse étant considéré comme du carbonate de chaux transformé en sulfate, la dolomie comme du calcaire devenu magnésien. Mais bien que ces métamorphoses soient possibles et qu'elles aient même eu lieu dans certains cas, elles sont l'exception et non la règle. Dans les Alpes du Dauphiné notamment, elles paraissent très-peu probables d'après les recherches de M. Lory (2). Ainsi, le gypse se montre en couches qui, tantôt alternent avec de la dolomie et tantôt sont intercalées dans du calcaire. D'un autre côté, l'observation montre que toutes ces couches sont bien distinctes et régulières; or M. Elie de Beaumont a démontré qu'en leur supposant une origine métamorphique le gypse aurait éprouvé une augmentation de volume considérable et la dolomie au contraire un retrait. Il est donc plus naturel d'admettre pour le gypse et pour la dolomie des Alpes une origine sédimentaire, comme pour les roches semblables qu'on trouve dans le Keuper et dans le terrain tertiaire. C'est du reste la conclusion à laquelle nous sommes arrivé nous-même dans l'étude du métamorphisme (3).

(1) *Philosophical Magazine*, 1859 (4e s.), XVIII, 153.
(2) *Description géologique du Dauphiné*, première partie, 119.
(3) Delesse. *Études sur le métamorphisme des roches*, in-4°, 1861 ; 39, 49.

Carbonate de chaux.

M. G. Rose (1) a recherché quelles sont les conditions dans lesquelles se forme le spath calcaire, l'arragonite et la craie, c'est-à-dire le carbonate de chaux rhomboédrique, rhombique ou amorphe.

1° L'influence d'une température élevée a d'abord été étudiée. Si l'on fond un mélange de carbonate de soude et de potasse et que l'on introduise dans la matière liquide un peu de chlorure de calcium calciné, puis qu'on la laisse refroidir et qu'on la traite par l'eau, on obtient un résidu pulvérulent de carbonate de chaux qui au bout de 24 heures s'est transformé en spath calcaire ou en chaux carbonatée rhomboédrique.

Lorsqu'on calcine de l'oxalate de chaux, on ne le transforme pas en spath calcaire.

M. G. Rose a repris ensuite l'expérience célèbre de sir James Hall; suivant la méthode indiquée et soumettant la craie à une haute température ainsi qu'à une forte pression, il a essayé de la métamorphoser en spath calcaire. Deux essais sont restés infructueux et M. G. Rose en tire la conclusion que la craie et le calcaire compacte étant soumis en vase clos à une haute température ne peuvent pas être transformés en spath calcaire; que de plus la chaux carbonatée rhombœdrique ne se produit pas par la chaleur. La craie se change alors en une masse dense, blanc bleuâtre, qui a sans doute été prise pour du marbre, bien que ce n'en fût pas. L'existence de marbre au contact du granite, du basalte et du trapp, ne démontre d'ailleurs pas que le calcaire se soit changé en marbre sous l'influence de la chaleur seule, puisque de la glauconie, des zéolithes et des minéraux hydratés peuvent encore lui être associés (2).

2° M. G. Rose a fait aussi évaporer une dissolution de carbonate de chaux dans de l'eau chargée d'acide carbonique, et il a reconnu qu'en opérant à la température ordinaire ou bien à une température plus élevée on obtient le carbonate de chaux sous les trois états qu'il offre dans la nature. Ainsi, l'évaporation de la dissolution à la température ordinaire donne à la surface de la chaux carbonatée en rhomboèdres et au fond du vase des globules de craie. L'évaporation à une température plus élevée produit à la surface des prismes d'arragonite et des tables de

(1) *Instit.*, 12 décembre 1860, 406. — Académie des sciences de Berlin, 2 juillet 1860.
(2) Delesse. *Etudes sur le métamorphisme des roches*, 1858; in-8°, 140.

spath, tandis qu'au fond du vase on a des rhomboèdres de spath calcaire.

3° Par voie humide et à une température élevée, le carbonate de chaux peut encore se déposer à l'état de spath calcaire ; c'est ce qui a lieu lorsqu'il est entouré par une atmosphère d'acide carbonique ou bien lorsqu'il se sépare au milieu d'un dégagement de ce gaz. Par exemple, lorsqu'on fait bouillir le précipité laiteux obtenu en décomposant le bicarbonate de soude par une dissolution de chlorure de calcium, on n'a absolument que des rhomboèdres de spath calcaire sans traces d'arragonite.

4° Enfin M. G. Rose a déterminé la température à laquelle le carbonate de chaux se sépare de ses dissolutions à l'état de spath calcaire ou d'arragonite. Dans ce but, il a maintenu de l'eau à une température constante dans une grande capsule d'argent ; il y a versé la dissolution de carbonate de chaux par portions assez petites pour que la température de la masse ne variât pas sensiblement ou du moins pour qu'elle redevînt promptement ce qu'elle était d'abord. Ensuite il a filtré le précipité formé qui a été examiné. Voici les résultats obtenus.

a Dans l'eau bouillante il se forme presque exclusivement de petits prismes d'arragonite et très-peu de rhomboèdres de spath calcaire ; *b* dans l'eau à 90° les prismes d'arragonite sont un peu plus volumineux et les rhomboèdres de spath encore plus rares ; *c* dans l'eau à 70° il y a évidemment plus de rhomboèdres que de prismes ; ils sont déjà mélangés de quelques étoiles avec une petite boule au milieu, ou bien avec des dendrites. Ces dendrites aussi bien que les étoiles appartiennent au spath calcaire ; *d* dans l'eau à 50°, les rhomboèdres existent encore en plus grande quantité ; il y a contraire moins de prismes d'arragonite, ils sont plus épais et souvent courbes. Les dendrites et les étoiles commencent d'ailleurs à devenir fréquentes ; *e* dans l'eau à 30°, il ne se forme pas du tout d'arragonite et les rhomboèdres déposés ont des dimensions plus grandes que dans les expériences précédentes. En outre il y a des disques et des dendrites qui sont fréquemment enroulés.

Or. M. A. Genth (1) a présenté des remarques générales sur le gisement et en outre sur l'origine de l'or. Ce métal se trouve

(1) *Geolog. Society* (2e s.), XXVIII, 252.

fréquemment dans la diorite et en plus petite quantité dans la syénite ou dans le granite. Quand la diorite se décompose entièrement, elle donne généralement une terre rouge argileuse qui, dans la Caroline du Nord, est renommée par sa grande richesse en or. C'est même dans la région dioritique du comté Cabarrus N. C. que les plus grosses pépites ont été trouvées, et elles pèsaient jusqu'à 28 livres. Tout le sol y est plus ou moins aurifère. A Alexandrowsk une large pépite d'or du poids de 86 livres a également été rencontrée dans la diorite ; ces exemples montrent donc que la diorite de diverses contrées peut être aurifère.

Maintenant l'or de la diorite décomposée est ordinairement brillant et arrondi ; il paraît même avoir été dissous, et il l'était sans doute à l'état de chlorure. C'est du reste facile à concevoir ; car la décomposition des pyrites de la diorite produit de l'acide sulfurique qui, en présence du peroxyde de manganèse et du chlorure de sodium qu'on rencontre partout, peut dégager de petites quantités de chlore, lequel est le dissolvant le plus énergique de l'or.

M. Genth décrit ensuite plusieurs échantillons démontrant que l'or a bien réellement été dissous. Ainsi, à Whitehall, comté de Spotsylvania, l'or recouvre de la tétradymite, et de plus, il paraît l'avoir pseudomorphosée, puisqu'il prend la forme de rhomboèdres et de scalénoèdres. De même, à la mine de tellure du comté de Fluvanna, la tétradymite contient fréquemment de l'or interposé entre ses lamelles ; et d'un autre côté l'expérience montre que la tétradymite précipite facilement, et avec l'éclat métallique, l'or qui se trouve dans une dissolution étendue de chlorure.

Suivant M. Genth, l'or des filons proviendrait des roches encaissantes ; l'auteur croit en trouver la preuve dans ce fait que l'or de la diorite se rencontrerait d'autant plus bas dans les filons que la roche serait plus profondément décomposée. Il regarde comme erronée l'opinion, universellement admise, que les filons sont la source de l'or exploité dans les alluvions ; comme preuve à l'appui, il ajoute que l'or présente rarement la même pureté dans les alluvions et dans les filons qui les avoisinent, et que dans ces derniers il est généralement moins fin. Bien que l'or disséminé dans les roches soit susceptible d'être dissous, comme l'a fait remarquer avec raison M. Genth, il nous paraît cependant incontestable que celui

qui se trouve dans les filons provient de l'intérieur de la terre comme les autres métaux.

Trachyte, granite. A la suite d'une étude sur les différents états de la silice, M. H. Rose (1) s'est rallié aux géologues qui rejettent l'hypothèse de la formation du granite par voie ignée. De plus, il a étendu la même conclusion aux autres roches quartzifères, notamment aux porphyres et aux trachytes qui contiennent du quartz. M. Ch. Deville (2) a fait observer que la présence du mica et des feldspaths dans le granite et dans les roches analogues est tout aussi difficile à expliquer que celle du quartz. Il ajoute que les déductions tirées d'expériences de laboratoire doivent avant tout s'accorder avec les faits constatés en géologie et qu'on ne peut se refuser à reconnaître des analogies fondamentales entre le granite et les laves modernes. Dans une publication antérieure, M. Delesse (1) a cherché à apprécier les conditions dans lesquelles se sont formées les roches éruptives. Bien que la chaleur ait participé dans une certaine mesure à la formation du granite, on ne saurait le considérer comme une roche ignée; c'est ce qui résulte de ses caractères minéralogiques, de son gisement et surtout du métamorphisme qu'il a exercé sur les roches avec lesquelles il se trouve en contact. Au contraire, il est bien difficile de ne pas attribuer une origine ignée au trachyte, même lorsqu'il contient du quartz; car ses caractères sont ceux des roches rejetées encore par les volcans; il possède comme elles la structure celluleuse et l'éclat vitreux et il leur est souvent associé.

Pour expliquer l'anomalie qui paraît résulter de la présence du quartz dans le granite et dans le trachyte, on ne doit pas perdre de vue qu'un même minéral peut avoir tantôt une origine aqueuse et tantôt une origine ignée. Le péridot et l'augite nous en offrent surtout des exemples bien remarquables, et rien ne s'oppose à ce qu'il en soit de même pour le quartz.

Tubes vitrifiés. Des observations directes ont montré à M. Wicke (4) que la foudre tombant sur le sable produit des tubes vitrifiés comme ceux qui ont été rencontrés dans divers gisements.

Météorite. Les recherches de M. W. Haidinger (5) sur la forme exté-

(1) *Annales de chimie et de physique* (3e s.), LVIII, 163.
(2) *Annales de chimie et de physique*, (3e s.), LIX, 74.
(3) Recherches sur l'origine des roches. *Bulletin de la Société géologique*, 1858 (2e s.), XV, 728, 739, 752, 767.
(4) *Jahresb. v. Kopp*, 1859, 827.
(5) *Acad. imp. de Vienne*, 19 avril 1860. — *Geolog. Society*, 1860, XVI, 37.

rieure des météorites, lui ont permis de déduire quelques conséquences intéressantes relativement à leur origine (1). Si l'on considère, par exemple, la météorite de Stannern, sa croûte brillante paraît indiquer les effets d'un courant d'air qui aurait produit autour d'elle un bourrelet saillant à l'arrière. La croûte de la météorite de Gross-Divina est rugueuse à l'arrière et polie à l'avant; elle montre en outre les dépressions rondes, bien connues, que M. Haidinger attribue à la fusion s'opérant dans un milieu rare ou dans le vide et à l'abri de l'influence de l'atmosphère.

L'auteur distingue deux périodes consécutives et bien définies depuis la formation de la météorite jusqu'au moment où elle atteint la surface de la terre. Pendant la première période qui est cosmique, le globe igné se forme par la résistance de l'air; la fin de cette période est marquée par une explosion indiquant l'entrée soudaine de l'air atmosphérique dans le vide imparfait qui existe dans son intérieur. Pendant la deuxième période qui est terrestre, la masse météorique tombe conformément aux lois de la pesanteur.

Les météorites, complétement recouvertes par une croûte vitrifiée, devaient déjà être isolées lorsqu'elles ont atteint l'atmosphère terrestre; elles ne peuvent être les fragments d'une météorite dont l'explosion aurait eu lieu au moment de la disparition du globe igné. Tandis que la météorite de Gross-Divina était une masse unique; celle de Stannern a produit une véritable pluie de météorites.

M. de Reichenbach admet que les météorites doivent leur origine à une agrégation de petits globules ou de cristaux analogues à ceux qu'il suppose exister dans la queue des comètes; MM. Haidinger et Kenngott pensent au contraire qu'elles sont formées de diverses substances minérales ayant une analogie évidente avec les roches qui composent l'écorce terrestre. A l'appui de sa théorie M. de Reichenbach invoque, il est vrai, l'expérience de M. Brokedon d'après laquelle le graphite pulvérisé, étant débarrassé d'air au moyen de la machine pneumatique et soumis ensuite à une compression, peut être changé en une masse compacte (2). Mais il faut observer que cette expérience suppose l'air préalablement enlevé et

(1) Voir aussi Kenngott. *Société scientifique de Zurich*, 31 octobre 1559.
(2) Lyell. *Manuel de géologie*; I, 62.

une compression supérieure à 20.000 tonnes. D'un autre côté, M. Schrotter a prouvé par des expériences ingénieuses que l'affinité chimique cesse complétement à une température de 80° au-dessous de zéro ; de telle sorte que les substances qui, dans les conditions ordinaires se combinent avec les plus violentes explosions, peuvent alors être mises impunément en contact. Or, la température des espaces planétaires que traversent les météorites, serait de 140° au-dessous de 0°, d'après M. Pouillet ; par conséquent les expériences de M. Schrotter élèvent une objection capitale contre la théorie de M. de Reichenbach, tandis qu'elles confirment au contraire celle de MM. Haidinger et Kenngott.

Age des roches éruptives. Granite.

Nous résumerons encore quelques faits qui fournissent des données sur l'âge des roches éruptives. M. Ormerod (1) a signalé des filons de granite dans les roches carbonifères des environs de Dartmoor. Ces filons se réduisent dans certains cas à des veinules, mais ils peuvent aussi atteindre 6 mètres; quand ils ont une grande puissance, leur structure devient d'ailleurs plus cristalline.

Mélaphyre, Porphyrite.

M. C. F. Naumann (2) a étudié le mélaphyre des environs d'Ilfeld dont il a déterminé l'âge. Ce mélaphyre est bien distinct de la porphyrite et il est plus ancien. Un étage du rothliegende sépare généralement ces deux roches.

Le mélaphyre d'Ilfeld, forme le plus souvent une sorte de manteau épais qui recouvre le rothliegende; toutefois, dans certains endroits, il est immédiatement superposé au terrain houiller ou même à la grauwake du terrain de transition.

La porphyrite recouvre le deuxième étage du rothliegende, et, est elle-même recouverte par le zechstein. Elle forme également un manteau qui est déchiré en un grand nombre de points, mais qui a plus d'étendue et plus de puissance que le mélaphyre.

Les filons de mélaphyre sont rares dans les environs d'Ilfeld et ceux de porphyrite sont encore plus rares.

Serpentine, Euphotide, Diorite.

M. W. P. Jervis (3) observe que, d'après les géologues italiens, et particulièrement d'après M. Savi, la serpentine avec diallage est la plus ancienne de la Toscane; elle perce le terrain

(1) *Geological Society*, XV, 191.
(2) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1860, 1, avec une carte géologique.
(3) *Geolog. Society*, XVI, 480.

crétacé supérieur et ne contient jamais des fragments de roches tertiaires. Quant à l'euphotide, à la diorite et à la serpentine sans diallage, elles sont venues postérieurement et à l'époque miocène.

Phonolite, Trachyte, Basalte.

M. E. Hassencamp (1) a fait, avec le concours de M. O. Heer, l'étude de la flore fossile fournie par le terrain tertiaire des montagnes du Rhön. Les couches de lignite qu'elles renferment appartiennent à plusieurs étages tertiaires. D'un autre côté toutes les formations de ce pays sont en relation intime avec les roches volcaniques; très-souvent ces dernières constituent même une partie importante du terrain, en sorte qu'il est possible de déterminer leur âge avec assez de précision. Le tableau suivant indique approximativement quelles sont les roches volcaniques qui dominaient dans les montagnes du Rhön aux époques auxquelles se sont déposés les différents étages:

Terrains.		*Roches volcaniques.*
Quaternaire.		Tuf trachytique.
Pliocène.		»
Miocène.	Etage d'OEningen.	Tuf basaltique.
	Etage Helvétique.	Basalte.
	Etage Mayencien.	Tuf basaltique et basalte.
	Etage de l'Aquitaine.	Basalte et tuf basaltique.
	Etage tongrien.	»
Éocène.		Phonolithe.

C'est à l'époque de l'étage helvétique qu'avaient lieu les principales éruptions basaltiques et au-dessus de cet étage les couches ne sont plus bouleversées.

Trachyte, Porphyre trachytique, Perlite, Obsidienne; Ponce, Basalte.

M. de Richthofen (2) distingue trois périodes dans les roches éruptives tertiaires de la Hongrie et des Sept Montagnes; ces périodes correspondent au groupe du trachyte, du Ryolite et du basalte. Le trachyte est le plus ancien ; il est presque entièrement formé d'hornblende et d'oligoclase et c'est seulement dans quelques éruptions plus récentes qu'on observe de l'orthose vitreux (sanidine). Jamais la silice n'y devient assez abondante pour s'isoler à l'état de quartz. Les roches appartenant au groupe du trachyte se rapportent du reste à deux séries; la première correspond au grunstein et à la diorite : M. de Richthofen la

(1) *Jahrb. v. Leonhard*, 1861, 191. — *Wurtzburg, Naturwis. Zeitschrift*, 1860, I, 193.
(2) *Jahrb. d. Geolog. Reichanstalt Sitz. Bericht*, 1860, 92. — *N. Jahrb. von Leonhard*, 1861, 98.

nomme *grunstein-trachyte*, ce que nous traduirons par trachyte vert; la deuxième est dite trachyte gris. Le trachyte vert est le plus ancien des deux.

Les roches du groupe appelé Ryolite par M. de Richtofen sont les plus riches en silice et paraissent correspondre au porphyre quartzifère ainsi qu'aux porphyres. La silice en excès y joue le rôle principal et elle s'est séparée à l'état de quartz; cependant le quartz peut y disparaître complétement. Elles contiennent du reste de l'orthose vitreux et un peu d'oligoclase. Beudant avait nommé ces roches porphyre trachytique, porphyre molaire, perlite, obsidienne, ponce. Elles se distinguent facilement des précédentes par leurs gisements, bien qu'il y ait quelquefois passage dans leurs caractères minéralogiques. Elles ont l'aspect de masses fondues qui, tantôt sont complétement vitreuses et tantôt ressemblent à de la porcelaine; elles peuvent aussi former de véritables courants de laves. Le trachyte et le ryolite sont certainement associés; mais le second est indépendant du premier; il lui est postérieur et antérieur au basalte.

Quant au basalte lui-même, il s'observe dans des régions spéciales et constitue des montagnes bien distinctes des précédentes.

Le trachyte se présente exclusivement en masses éruptives qui remplissent des fentes régulières et allongées, ou bien qui forment les massifs des montagnes. Le ryolite est sur les flancs ou bien au pied du trachyte; il ne se montre que rarement en masses éruptives; c'est une roche subordonnée qui résulte essentiellement de l'action volcanique la plus énergique; elle a coulé par des cratères ou par des fentes et elle s'est répandue sur les flancs des montagnes trachytiques. Le basalte présente d'ailleurs les deux modes d'éruption.

D'après M. de Richthofen, la division des roches éruptives les plus récentes en trachyte, ryolite et basalte pourrait se généraliser. Elle s'appliquerait non-seulement à la Hongrie, mais encore à l'Allemagne Centrale dans laquelle les deux premiers groupes manquent toutefois presque complétement; à l'Asie-Mineure et aux plateaux de l'Arménie d'après les recherches de M. Abich; aux monts Euganéens dans lesquels le trachyte qui est le plus ancien, a été suivi par le perlite, puis par le basalte du Vicentin; à l'Islande où la période du ryolite est maintenant terminée et remplacée par celle des

roches basiques. Dans la Nouvelle-Zélande, d'après Hochstetter, on trouve également trois périodes de roches éruptives. Enfin, les observations de Humboldt ont montré qu'il en est encore de même au Mexique où les roches éruptives ont la plus grande analogie avec celles de la Hongrie.

Volcan éteint.

M. Noeggerath (1) a signalé dans le lœss du Rhin une couche puisssante de lapilli et il en conclut que l'éruption du volcan Rodderberg a eu lieu à l'époque de la formation du loess. On sait du reste que le loess remplit en partie le cratère de ce volcan.

Eaux minérales.

M. Ébray (2) a appelé l'attention sur la coïncidence des failles avec les eaux minérales, et il a proposé de l'appliquer à la séparation des étages géologiques.

D'un autre côté, M. G. Sandberger (3) a cherché à déterminer l'âge des sources minérales de Wiesbaden. La faille par laquelle elles surgissent se trouve entre deux lentilles de grès tertiaire barytifère qui formaient d'abord un dépôt continu et presque horizontal; en sorte qu'elles sont postérieures à ce grès. De plus, des dépôts sécrétés par ces sources minérales s'observent déjà dans le terrain diluvien; par suite elles auraient commencé à jaillir après la dislocation du grès tertiaire et avant le terrain diluvien.

Roches métallifères. Filons baryto-plombeux.

M. de Beust (4) a appelé l'attention sur l'âge des filons baryto-plombeux. Il observe que très-développés dans l'Erzgebirge, ces filons le sont également dans le midi de la France où ils ont été étudiés par M. Grüner; ils se retrouvent aussi dans l'Auvergne, dans la Haute-Loire, au sud des Cévennes dans les départements du Gard et de la Lozère. D'après M. Grüner, le filon du Bottino en Toscane s'y rapporterait également. Or tous ces filons baryto-plombeux paraissent être à peu près contemporains de l'époque du lias. M. de Beust remarque cependant que dans les gîtes métallifères une même combinaison mineralogique a très-bien pu se reproduire à des époques différentes; et c'est aussi ce qui résulte des études de M. B. de Cotta (5); du reste il est facile de constater que cette ré-

(1) *Niederrheinische Gesellschaft zu Bonn*, 9, mai 1860.
(2) *Bull. géol.*, XVII, 422.
(3) *Zeitschrift d. deutschen Geologischen Gesellschaft*, XII, 567.
(4) *Berg und Huttenmänische Zeitung*, 1860 293 et 73.
(5) *Lehre von den Erzlagerstätten.* — Freiberg, 1859.

currence dans les caractères minéralogiques s'observe, non-seulement dans les roches métallifères, mais encore dans les autres roches éruptives.

La fin à la prochaine livraison.

RAPPORT ET AVIS

SUR L'EXPLOSION DE LA LOCOMOTIVE N° 242, DES CHEMINS DE FER DE L'EST.

Rapport de l'ingénieur des mines, attaché au contrôle de la deuxième section des chemins de fer de l'Est.

Le 17 août 1861, le train de marchandises n° 576 était remorqué à son départ de Vesoul par deux locomotives dont la première était une machine mixte, du système Paquin, à quatre roues couplées, portant le n° 242 et le nom de *la Ville de Saint-Dié*.

Le train étant arrivé à 500 mètres onviron de la station de Charmoy, vers onze heures du matin, quand le mécanicien Stiéwenard ferma son régulateur. Au moment même une secousse terrible fut imprimée à la machine, dont l'eau se répandit par le foyer. L'arrière de la machine fut soulevé et la barre d'attelage du tender fortement ployée. Ce mouvement avait relevé le tablier mobile du tender et laissé un espace vide dans lequel le mécanicien Stiéwenart engagea sa jambe gauche. Quant au chauffeur Chagon, il fut jeté sur la voie sans pouvoir se rendre compte de la manière dont il avait été précipité. Les blessures de ces deux agents étaient assez graves, mais ne mettaient pas leur vie en danger.

La machine n° 242 fut immédiatement ramenée aux ateliers de Mulhouse; depuis cette époque elle a été entièrement démontée.

Des cinq faces du foyer, la plaque tubulaire seule n'a pas souffert; le ciel a été déplacé, mais les armatures ont maintenu sa forme plane; les deux parois de droite et de gauche ont été ployées comme l'indique les *fig.* 1 à 4, Pl. VIII; enfin la plaque de la porte du foyer a été déchirée; c'est par là que toute l'eau s'est répandue. Heureusement le verrou qui fermait la porte a résisté à la pression de la vapeur; c'est ce qui a préservé le mécanicien et le chauffeur d'accidents plus graves.

Les autres parties de la machine étaient intactes, à l'exception de l'enveloppe extérieure de la boîte à feu qui, sur le flanc gauche, avait été ployée de 70 millimètres en face des parties les plus détériorées du foyer.

La machine n° 242 a été construite en 1856 aux ateliers de Mulhouse. Le foyer, en cuivre rouge, était relié à l'enveloppe extérieure en tôle par des entretoises en fer de 18 millimètres de diamètre, espacées de 10 centimètres. Elle est entrée au dépôt de Vesoul en mars 1860, venant du dépôt de Nancy, et a parcouru, depuis cette époque, jusqu'au 31 juillet 1861, 20.956 kilomètres.

Le 11 octobre 1860, elle a dû être renvoyée aux ateliers de Mulhouse, où l'on a changé le dôme de prise de vapeur et visité les armatures du ciel du foyer, qui ont été reconnues en bon état. En juin 1861, le chef du dépôt de Vesoul, M. Delbarre, visita lui-même cette machine, dont le foyer fut trouvé dans de bonnes conditions.

Cependant ces visites étaient trop superficielles pour faire connaître l'état des entretoises, et c'était là qu'il fallait rechercher le vice capital de cette machine.

Sur les 120 entretoises de la face gauche du foyer, 41 présentaient des traces de rupture très-anciennes et

ne servaient évidemment plus à rien bien avant le 7 août; 33 entretoises de la face droite et 27 de la plaque de la porte étaient dans le même cas. Sur les figures, les entretoises rompues antérieurement à l'accident sont indiquées par une hachure sombre, celles qui ont cédé au moment de l'explosion, par une hachure claire; enfin, celles qui sont demeurées intactes ne sont pas teintées.

Un coup d'œil rapide sur ces figures fait voir immédiatement que ce sont les entretoises de la partie supérieure du foyer qui ont cédé en plus grand nombre. Quelques-unes ont pu être rompues au moment de l'épreuve à la double pression, mais la plupart d'entre elles ont dû être détériorées par l'usage même de la machine.

En effet, le cuivre du foyer et la tôle de l'enveloppe de la boîte à feu ayant des dilatations inégales, il en résulte un travail continuel d'autant plus grand que les entretoises sont plus éloignées du cadre du foyer qui représente une base fixe, et dans tous les cas beaucoup plus dangereux pour les entretoises en fer que pour celles en cuivre.

Sur les 70 entretoises supérieures de la face gauche du foyer, il n'y en avait plus que 21, réparties très-inégalement, pour résister à la pression de la vapeur. Encore quelques-unes d'entre elles ne représentaient plus qu'une section de quelques millimètres de fer sain, car elles étaient en grande partie corrodées. Au moment où le mécanicien a fermé son régulateur, la légère surélévation de pression qui en est brusquement résultée a suffi pour faire céder une entretoise; la face gauche du foyer s'est ployée, a entraîné les autres et amené l'explosion.

L'accident du 17 août s'explique donc tout naturelle-

ment; il a eu heureusement peu de gravité, mais il doit avoir pour conséquence de faire surveiller avec la plus grande attention les machines dont les foyers sont armés d'entretoises en fer.

Mulhouse, le 7 novembre 1861.

Signé : LEBLEU.

Avis de l'ingénieur en chef du contrôle des chemins de fer de l'Est et des Ardennes.

Cet accident qui n'a pas fait de victimes, mais qui pouvait être beaucoup plus grave, remonte à plusieurs mois. Sa cause, quoique probable, était restée assez douteuse, et il a fallu, pour la constater avec certitude, attendre que la chaudière fût mise en réparation et le foyer descendu. Ainsi s'explique la production tardive du rapport de M. Lebleu.

L'emploi des rivets en fer comme armature des faces planes du foyer et de la boîte à feu, est depuis longtemps condamné par la plupart des constructeurs. L'exemple de la machine 142 vient à l'appui de cette condamnation.

On pouvait, dans le début, supposer que ces rivets se comporteraient bien. Ils ne peuvent, en effet, être posés qu'à froid, puisque le corps étant taraudé doit être exactement calibré sur les trous des feuilles formant écrous. Les têtes sont dès lors façonnées à froid, et un métal très-ductile peut seul se prêter à cette opération et donner des têtes bien saines. Il était donc permis de croire que du fer assez doux pour subir cette

épreuve, résisterait aussi bien que le cuivre aux efforts spéciaux auxquels il est soumis par suite des dilatations inégales des parois du foyer et de la boîte à feu.

L'expérience ayant prononcé, il est prudent de renoncer définitivement à l'emploi des entretoises en fer dans de semblables conditions.

Paris, le 18 novembre 1861.

Signé : 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.

REVUE DES DISTRICTS DE FORGES DU ROYAUME-UNI

AU POINT DE VUE DE LA FONTE.

II. DISTRICT DU PAYS DE GALLES (SOUTH-WALES) (1).

FABRICATION DE LA FONTE POUR RAILS.

CHAPITRE IX.

GÉNÉRALITÉS ET RÉSUMÉ HISTORIQUE.

Limites et situation du South-Wale

Le district de forges du pays de Galles ne comprend, dans l'acception ordinaire de ce mot, que la partie sud du pays de Galles proprement dit, c'est-à-dire les comtés de Monmouth et de Glamorgan et la lisière méridionale des comtés de Brecknock et de Caermarthen. Mais on peut, à la rigueur, considérer comme annexe naturelle de cet important district la forêt de Dean, dans le comté de Gloucester. Ce qui va suivre s'appliquera spécialement au *South-Wales* proprement dit, mais nous dirons néanmoins quelques mots des usines de la forêt de Dean que nous venons de nommer.

(1) Voir pour le 1er district, tome XX, page 183.

Le sud du pays de Galles doit son importance, comme district de forges, au vaste bassin houiller qui borde au nord, presque sans interruption, le canal de Bristol, depuis l'embouchure de la Severn jusqu'à l'extrémité ouest du Pembrockeshire (Pl. V du t. XIX). Cette heureuse situation permet non-seulement de fondre sur place les minerais que renferme le terrain houiller lui-même, mais encore de recevoir, à peu de frais, les riches minerais oxydés du nord de l'Angleterre, et d'exporter directement par mer les produits obtenus. Par suite de la rareté de la population dans ces contrées, on s'est vu d'ailleurs contraint, comme en Écosse, de borner la fabrication aux produits qui réclament, proportionnellement à leur poids, une main-d'œuvre faible, comme les rails et le gros fer marchand.

Dans le voisinage seul des anciens centres de popupulation, presque tous situés proche de la mer, se sont formés quelques établissements où le fer reçoit des formes plus variées. Ainsi à Pontypool, Newport, Swansea, Neath, il y a des fabriques de fer-blanc et de fil de fer, tandis que toutes les grandes usines de l'intérieur, telles que Dowlais, Ebbwvale, Beaufort, Aberdare, etc., se contentent de fabriquer des rails avec une faible proportion de fer en barres ou de tôle forte.

Origine de l'industrie du fer dans le pays de Galles.

L'industrie des fers, dans le pays de Galles, date de trois siècles au moins, car l'usine de Pontypool fut établie au temps de la reine Élisabeth, et les hauts fourneaux d'Yniscedwin, alimentés à l'anthracite depuis 1840 et marchant au coke de 1790 à 1840, avaient déjà servi antérieurement, depuis fort longtemps, à la fabrication des fontes au bois.

Néanmoins, avant l'emploi du combustible minéral, les principales forges du Royaume-Uni étaient plutôt

situées dans l'angle sud-est du pays (les comtés de Kent, Sussex et Surrey), et les premières grandes forges du pays de Galles ne furent établies que vers 1780 à 1800. Elles languirent même jusqu'à l'époque de la création des voies ferrées qui datent, en Angleterre, de 1820 et se multiplient surtout à partir de l'année 1830. Et lorsque, vers 1845, la consommation des rails commença à se restreindre dans le pays même, l'exportation croissante vers le continent européen, les États-Unis et les Indes orientales permit aux usines galloises de grandir encore.

Développement progressif de l'industrie du fer.

En 1806, le pays de Galles prime déjà les autres districts par le nombre de ses fourneaux. Sur deux cent vingt-sept hauts fourneaux, que renferme alors le Royaume-Uni, le South-Wales en compte cinquante-deux, produisant par année 50 à 60.000 tonnes de fonte.

En 1820, il fournit 150.000 tonnes.

En 1825, cent-neuf hauts fourneaux, dont quatre-vingt-deux en feu, produisent 225.500 tonnes. C'est entre ces deux dates que tombe la construction du premier chemin de fer public anglais, celui de Stockton à Darlington, autorisé en 1821.

A partir de cette époque, les usines établies se développent rapidement, et d'année en année de nouvelles forges s'ajoutent aux anciennes; ainsi Dowlais, la plus grande usine du pays de Galles, renfermait, à l'époque de sa fondation, en 1790 :

	2	hauts fourneaux seulement;	
	3,	de 1795 à	1809
	4,	de 1810 à	1819
Puis	7	en	1820
	11	en	1825
	13	en	1835
	17	en	1840
Et	18	en	1845

Depuis lors, le nombre des fourneaux est resté stationnaire, mais la production de l'usine s'est encore développée par l'accroissement progressif du volume de chacun d'eux. On voit d'ailleurs, par les dates que nous venons de rapporter, que le rapide essor de Dowlais correspond exactement à la période de construction des chemins de fer anglais (1820 à 1840).

	tonnes.
En 1827, le pays de Galles renfermait 90 hauts fourneaux en feu produisant.	272.000
En 1839 (d'après Mushet), 122 hauts fourneaux en feu.	453.880
En 1857 (d'après Hunt), 207 hauts fourneaux, dont 164 en feu (1).	970.727
Et en 1858 (d'après R. Hunt), 199 hauts fourneaux, dont 148 en feu.	886.475

L'année 1857 correspond à une sorte de maximum, car dès lors lors les prix et la production faiblissent d'année en année. A partir de cette époque l'Amérique du Nord réclame moins de rails; ses propres usines grandissent rapidement. Néanmoins les maîtres de forges gallois espèrent que leurs usines sont encore appelées à vivre longtemps, car les Indes, la Chine, l'Asie tout entière doit tôt ou tard se couvrir de rails.

Importance des usines à fer en 1857.

En 1857 le nombre total des usines à fer du South-Wales était de quarante-neuf; savoir : trente-neuf avec cent soixante-treize hauts fournaux dans le district à charbons bitumineux et dix usines avec trente-quatre hauts fourneaux dans le district à charbons anthraciteux.

(1) Truran indique, pour 1854, 176 hauts fourneaux en feu et une production de 1.035.646 tonnes, mais ce chiffre paraît exagéré, car la production totale du Royaume-Uni était moins élevée en 1854 qu'en 1857.

La forêt de Dean (Gloucestershire) renfermait en outre cinq usines (dont deux en activité), contenant dix hauts fourneaux, sur lesquels cinq en feu en 1857 et quatre en 1858. Leur produit en fonte fut de 23.882 tonnes en 1857 et de 23.580 tonnes en 1858. Ce district renferme, d'ailleurs, une seule usine importante, celle de *Cinderford*, dont trois fourneaux sur quatre étaient en feu en 1857 et 1858.

En rapprochant les chiffres que nous venons de citer des données générales du chap. V, p. 176, on peut constater que dans l'espace de trente ans, de 1827 à 1857, la production de la fonte s'est accrue, au pays de Galles, dans le rapport d'un à quatre, tandis que celle de tout le Royaume-Uni a grandi, dans le même intervalle, d'un à cinq. Ce retard relatif provient de la création des hauts fourneaux du Cleveland qui, depuis 1850, sont venus se joindre aux districts anciens. Rappelons, pour clore ce court résumé historique, que la production moyenne des hauts fourneaux du pays de Galles était de 8 à 9 tonnes par vingt-quatre heures en 1827, tandis qu'elle atteint 20 tonnes actuellement; et que la consommation en houille a été ramenée, par tonne de fonte, durant la même période, de 4 tonnes à 2t,25, par l'application de l'air chaud, de la houille crue et des gaz du gueulard.

CHAPITRE X.

MATIÈRES PREMIÈRES.

§ 1. *Houille. Bassin houiller du South-Wales.*

Les forges du pays de Galles, on vient de le dire, doivent leur existence au riche bassin houiller du Sud-Ouest de l'Angleterre. C'est de lui, par suite, qu'il importe de s'occuper d'abord.

Etendue et limites du bassin houiller.

Le bassin proprement dit du South-Wales (voyez Pl. V du t. XIX) s'étend le long de la mer, de l'est à l'ouest, depuis les environs de Newport jusqu'à la baie de Caermathen, sur une longueur de 60 milles (96 kilomètres) et une largeur moyenne de 15 milles (24 kilomètres).

Mais, en dehors de ce massif principal, on retrouve encore à l'ouest une étroite bande, fort tourmentée, vers l'extrémité occidentale du Pembrockeshire; et, à l'est, les lambeaux isolés de la forêt de Dean et de Bristol, qu'il est permis de rattacher aussi au bassin du South-Wales.

La superficie approximative du bassin houiller proprement dit du pays de Galles est de 1.030 milles quarrés, dont 80 milles quarrés appartiennent au *millstone-grit* et 950 aux *coal-measures*.

Le terrain houiller repose en général, dans le pays de Galles, en stratification concordante sur le calcaire carbonifère; cependant vers l'ouest, comme on l'a déjà vu (1), il déborde graduellement l'étage calcaire et repose alors directement sur le devonien et le silurien.

(1) 1re partie, page 188.

Division du bassin houiller en quatre étages ou systèmes.

D'après les travaux de Conybeare, Buckland et Logan, résumés par de la Bèche dans le premier volume des mémoires du *Geological Survey*, le terrain houiller de Bristol et du pays de Galles se compose de quatre étages, ou systèmes, dont le premier, en partant de la base, correspond au *millstone-grit* du Centre et du Nord de l'Angleterre. Seulement, dans la contrée qui nous occupe, ce système inférieur n'est pas nettement séparé du terrain houiller proprement dit; on le considère plutôt comme faisant partie des *coal-measures*.

Les quatre étages se succèdent, de haut en bas, dans l'ordre suivant :

1° Schistes houillers supérieurs (*upper coal shale*);

2° Les grès supérieurs, appelés *Pennant rocks* à Bristol, et *town-hill sandstones*, ou *central sandstones* à Swansea;

3° Les schistes houillers inférieurs (*lower coal-shale*);

4° Les grès inférieurs, correspondant au *millstone-grit*, appelés *farewell rocks* par les mineurs.

De ces quatre groupes, les deux étages schisteux sont éminemment houillers et riches en minerai, tandis que l'étage arénacé inférieur est complétement stérile et le supérieur très-pauvre à l'Est, mais pourvu de quelques couches à l'Ouest, auprès de Swansea.

L'extension horizontale des quatre étages diminue de bas en haut, comme dans la plupart des bassins houillers. L'étage le plus élevé n'est même complétement développé que vers les deux extrémités, auprès de Bristol à l'Est, et dans les environs de Llanelly, Swansea et Neath à l'Ouest.

Les autres étages se présentent sous forme de bandes en zones concentriques est-ouest, relevées de part et

d'autre, au nord et au sud, en fond de bateau, dit *troughs* (auges) en Angleterre.

Puissance du assin houiller.

La puissance et la composition des divers étages est loin d'être uniforme dans les diverses parties du bassin. Il est rare que l'on puisse poursuivre une même couche ou une même assise à plusieurs milles de distance, surtout dans l'étage des grès supérieurs. A cet égard le dépôt houiller du pays de Galles ne diffère donc guère de ceux du continent.

A l'Est, auprès de Bristol, entre Avon et les Mendip-Hills, d'après les mémoires du geological Survey, les divers étages auraient les épaisseurs suivantes (1) :

Upper shales.	1.800 pieds.
Central sandstones ou Pennant rocks . .	1.725
Lower shales.	1.565
Farewell rocks.	1.200
Puissance totale.	6.290

Dans la forêt de Dean on trouve :

Upper shales.	1.255
Central sandstones.	1.055
Lower shales.	manquent.
Farewell rocks	455
Puissance totale.	2.765

D'autre part, si de la forêt de Dean on s'avance vers l'ouest, les schistes inférieurs se développent de nouveau : ainsi à Pontypool on trouve 423 pieds, à Ebbwvale 630 pieds, à Merthyr-Tydvil 812 pieds et à Swansea au moins 2 à 3.000 pieds.

Il en est de même des central sandstones qui augmentent rapidement de l'est à l'ouest.

En général le terrain houiller acquiert, dans son

(1) *Geological Survey*, tome I, page 212.

ensemble, auprès de Swansea, une puissance colossale. M. Logan l'estime à près de 11.000 pieds et même 12.000, en y comprenant les schistes encore plus élevés de Llanelly (1).

Par contre, dans la partie centrale du bassin, le Monmouthshire et le Glamorganshire, où sont établies la plupart des forges, l'étage supérieur manque entièrement, et le deuxième (les *Pennant-rocks*) atteint au maximum 1.500 à 2.000 pieds. Il ne renferme d'ailleurs que trois ou quatre couches de houille peu importantes, de qualité médiocre. Au-dessous viennent les schistes inférieurs, dont la puissance moyenne est de 6 à 800 pieds. C'est le système houiller par excellence, celui qui fournit la presque totalité des charbons exploités dans le pays de Galles. Ces schistes reposent à leur tour sur les grès inférieurs, les *farewell-rocks*, dont la puissance va rarement au delà de 200 pieds. Ainsi, dans la partie la plus importante du bassin, celle qui correspond aux ports de Cardiff et de Newport, la puissance totale de la formation houillère ne dépasse guère 3.000 pieds ou 1.000 mètres au maximum. Le tout repose sur le calcaire carbonifère, dont la puissance varie de 500 à 1.000 pieds.

Puissance et nature des couches de charbon du bassin houiller.

Auprès de Swansea, où la formation houillère, y compris le *millstone-grit*, mesure 11.000 pieds, on connaît trente-cinq à quarante couches de houille de 1 à 5 ou 6 pieds de puissance, formant un total en charbon de 90 à 100 pieds, ou 30 mètres. Mais c'est là, comme on vient de le voir, une puissance exceptionelle. Dans la région centrale, le véritable district des forges dont nous venons de parler, le nombre des

(1) Tome I, page 202.

couches exploitables est au maximum de dix à douze, et leur épaisseur réunie de 30 à 40 pieds.

Sur ce nombre, 2 ou 3 appartiennent aux Pennant-rocks et 8 ou 9 aux schistes inférieurs.

Réserve utile du bassin houiller.

La variabilité des couches et la faible étendue relative des travaux ne permettent pas d'évaluer la réserve en houille que contient le bassin du South-Wales. Le Survey lui-même ne l'a pas tenté jusqu'à présent; mais cette réserve est dans tous les cas fort grande, puisqu'on peut admettre pour le moins 20 à 25 pieds de charbon sur 5 à 600 milles quarrés; soit 6 à 7 mètres sur 13 à 1.500 kilomètres quarrés.

Conformation générale du dépôt houiller.

Le dépôt de houille constitue dans sa partie centrale, entre Newport et Swansea, un large plateau, plus ou moins accidenté, s'élevant des bords de la mer vers les montagnes anciennes du pays de Galles.

La plongée générale des assises est conforme à cette pente du sol. A partir de leurs affleurements nord, elles inclinent vers le sud, deviennent à peu près horizontales vers le milieu et même sur une étendue assez grande, puis se relèvent brusquement en sens inverse avant d'atteindre les bords de la mer. C'est la disposition en fond de bateau (*troughs*) dont nous avons parlé ci-dessus, disposition qui ressort, en effet, de la coupe générale ci-jointe (Pl. VIII, *fig.* 5), sur laquelle les divers étages sont sensiblement figurés avec leurs épaisseurs relatives. Ce large plateau houiller est coupé par un certain nombre de vallées nord-sud, provenant le plus souvent de grandes failles transversales. Ce sont ces vallées qui servent de débouchés naturels au pays de Galles. Dès le siècle dernier on y établi des routes et des canaux, et depuis 1830 de nombreux chemins de fer, qui tous aboutissent, comme les canaux, aux ports de Newport, Cardiff, Neath, Sanwsea ou Llanelly.

Situation des mines et des principales usines du pays de Galles.

C'est aussi vers l'origine de ces vallées, sur les lignes d'affleurements des schistes inférieurs, que l'on a ouvert les premières mines et construit les principales usines du pays de Galles (Dowlais, Ebbwvale, Beaufort, Tredegare, etc.). Là les couches de houille des *Pennant-rocks* et les couches les plus élevées des schistes inférieurs ont pu être exploités longtemps, et le sont encore sur certains points, comme à Blaenavon, par galeries horizontales se dirigeant du fond des vallées sous les plateaux.

Le long des affleurements, le minerai fut même jadis exploité à ciel ouvert, et ensuite par une série de très-petits puits, appelés *bell-pits*, pourvus de simples treuils à bras.

Aujourd'huil'on exploite houille et minerai par grands puits; mais ces puits, presque tous ouverts dans le fond ou le flanc des vallées, laissent les *Pennant-rocks* en amont de leur orifice, et pénètrent ainsi, la plupart, immédiatement ou presque directement dans le groupe des schistes inférieurs, Par suite, leur profondeur dépasse rarement 100 à 200 mètres, ou au maximum 300 mètres. De plus, à l'aide de ces puits, grâce à la régularité du terrain, on s'avance bien souvent par galeries de niveau jusque sous le milieu des plateaux situés entre les vallées.

Par ces mêmes puits, on exploite simultanément, ou plus souvent alternativement, le minerai ou la houille, en ouvrant des galeries, à divers niveaux.

Ces conditions sont favorables, et par cela même les prix de revient relativement peu élevés; mais il y a eu néanmoins depuis trente ans hausse sensible, sur les minerais surtout, comme en Écosse, car les travaux s'éloignent peu à peu des affleurements et des vallées où se trouvent groupées toutes les usines.

Les mines de houille les plus importantes, celles qui travaillent moins pour les usines du pays que pour l'exportation, sont situées dans la vallée de la Taff, qui aboutit au port de Cardiff. Mais outre ces établissements, dont le but spécial est l'exploitation de la houille, il en est d'autres qui, tout en ayant en vue la fabrication du fer, livrent néanmoins aussi de la houille au commerce. Telles sont entre autres les compagnies d'Ebbwvale et d'Aberdare, qui vendent une partie du gros, tandis qu'elles brûlent dans leurs usines le menu et le mi-gros. Ce sont ces conditions qui permettent à certains établissements, comme nous l'avons montré dans la première partie (vol. XIX, p. 166), de traverser les crises qui frappent périodiquement l'industrie du pays en pesant toujours beaucoup plus sur les usines à fer que sur les mines de houille.

Production et répartition des houilles du pays de Galles.

On a vu (p. 173 et 177 de la première partie) que le bassin du South-Wales a fourni en 1858, par 352 mines :

7.495.289 tonnes de houille et d'anthracite (1), dont 737.590 tonnes étaient de l'anthracite proprement dite, et que de ce total on a exporté à l'étranger :

1.369.350 tonnes de houille et 6.118 tonnes de coke.

La statistique de M. R. Hunt, pour 1858, montre en outre (p. 128 et 133), que l'on a exporté du South-Wales, pour les autres parties de l'Angleterre :

Par mer	1.907.643 t. de houille et 13.597 de coke.
Par chemin de fer.	159.093 t. de houille.
Ce qui fait monter l'exportation totale à	5.436.086 t. de houille et 18.715 de coke
ou à environ. . . .	3.465.000 t. en ramenant le coke en houille.

(1) Il y a trente ans, d'après les auteurs des *Voyages métallurgiques*, l'extraction totale du pays de Galles était de 2.600.000 t., dont 1.700.000 t. furent consommés sur les lieux.

On a donc consommé dans le district même à peu près 4.030.000 tonnes de houille qui se répartissent approximativement ainsi :

	tonnes.
Pour 886.500 tonnes de fonte à 2l.25.	1.790.000
Pour 550.000 t. de rails et fers en barres à 2l,20 . .	1.210.000
Pour 25.000 t. de cuivre fabriqué à Swansea a 12l.	300.000
Consommation locale et industries accessoires. . . .	730.000
Total.	4.030.000

Prix de revient de la houille rendue aux usines.

Le prix de revient moyen actuel de la houille, amenée aux usines par les chemins de fer privés des mines, varie selon les distances et les qualités entre 4 sh. et 6 sh. 9 d. la tonne de 2.400 liv. ; soit 4l.60 à 7l,20 les 1.000 kil., sommes qui ne comprennent aucun intérêt ni amortissement des capitaux engagés. Ces prix haussent ou baissent d'ailleurs avec le taux de la main-d'œuvre et l'activité commerciale. Dans les périodes de crise on réduit le salaire des ouvriers et l'on ralentit les travaux d'avenir (*dead-works*). C'est ainsi que dans l'un des principaux établissements du pays de Galles, dont les livres ont été mis à notre disposition avec la plus grande bienveillance, nous avons pu constater qu'en 1851 et 1852, années de crise, les prix de revient étaient de 3 sh. 7 d. et 3 sh. 6 d. 49 par tonne de 2.400 liv. tandis qu'en 1853, 1854 et 1855, années de prospérité où les salaires avaient repris leur taux normal, ils étaient de 4 sh. 7 d. 43, 5 sh. 1 d. 01 et 5 sh.

Les prix de revient se décomposent, dans les comptes, en *main-d'œuvre* et *general charges*. On comprend, dans le pays de Galles, sous ce dernier terme les redevances et l'ensemble des fournitures et matières premières consommées. Ces *general charges*, qu'il ne faut donc pas confondre avec ce que nous appelons *frais généraux* en France, vont à peu près à 1 sh. 6 d. par

tonne de 2.400 liv., ou plutôt, on peut admettre 1 sh. à 1 sh. 6 d. pour les mines de houille proprement dites, et 1 sh. 6 d. à 2 sh. pour les mines où l'on confond les *general charges* relatifs à la houille et au minerai, sauf à répartir à la fin du mois la totalité des redevances et fournitures au *prorata* des tonnes de charbon et minerais extraits. C'est ainsi que dans l'établissement déjà cité, où les *general charges* du minerai et de la houille sont confondues, nous avons trouvé, pour divers trimestres des années 1859 et 1860, les chiffres suivants :

	sh. d.	sh. d.	sh. d.	sh. d.
Main-d'œuvre	3 2,04	3.5,24	3. 6,04	3.7,76
General charges	1.5,67	1.7,48	1.10,77	1.6,62
Prix de revient total.	4.7,71	5.0,72	5. 4,81	5. 2,38

Tandis que dans un autre établissement, où la houille est exploitée seule, nous avons constaté, pour les premiers mois de l'année 1860, le prix de revient détaillé suivant, où les *general charges* ne s'élèvent même pas à 1 sh.

Prix de revient détaillé par tonne de 22 quintaux
(2.640 liv. ou 1.196 kil.)

Main-d'œuvre et chevaux :

	sh. d.	
Abatage	1. 4,6	
Roulage	0. 5,5	
Travaux stériles.	0. 11,6	
Aménagements	0. 0,7	
Chevaux (la journée à 4 sh.)	0. 4,0	
Pesage.	0. 0,1	
Divers	0. 7,0	
Chemins de fer extérieurs	0. 0,1	
Total de la main-d'œuvre.	3. 5,6	3. 5,6

	sh. d.	
Report de la main-d'œuvre		3. 5,6
General charges (redevances et matières premières) :		
Redevances (royalty).	0. 9,0	
Bois (la tonne 26 sh.).	0. 0,7	
Fer et fontes déduction faite des vieux moulages et fers	0. 0,5	
Charbon pour machines.	0. 0,8	
Matières diverses	0. 0,4	
Total des general charges.	0. 11,2	0. 11,2
Prix de revient total		4. 2,8
Soit par 1.000 kil. de tout-venant (1).		4f,45

Ce prix est, au reste, grâce à la crise commerciale, exceptionnellement bas, car de 1854 à 1859 il était généralement sur toutes les mines de 6 à 8 d. plus élevé, c'est-à-dire pour la mine en question, de 5 fr. à 5f,15 les 1.000 kil.

En juillet 1845, époque où le taux de la main-d'œuvre, ainsi que le prix des fers, étaient aussi comme aujourd'hui fort bas, le prix de revient de la houille ne dépassait pas à Dowlais, d'après M. Truran (2) : 3 sh. 2d,5 la tonne légale, savoir :

	sh. d.
Main-d'œuvre et chevaux	2.5,0
General charges	0.9,5
Total.	3.2,5

Mais alors la royalty n'était alors que de 3d,6, tandis qu'elle est aujourd'hui de 9 d.

(1) Dans une couche ordinaire de 1m,30 à 1m,60 de puissance, un piqueur gagnant 4 sh. par jour fait généralement 2 tonnes de gros et une tonne de menu, le charbon étant de dureté moyenne. On laisse, de plus, une tonne de menu dans les remblais, en sorte que la couche fournit en réalité 50 p. 100 de gros.

(2) Truran, page 168.

D'autre part, d'après les auteurs des *Voyayes métallurgiques*, la houille n'aurait coûté en 1830, à Abersychan, sur le carreau de la mine, abstraction faite de la *royalty*, que 2 sh. 5 d. la tonne *longweight* (1), ou 2f,52 les 1.000 kil., tandis qu'en 1858 et 1859, le prix de revient sur cette même mine, redevance comprise, oscillait, dans les divers trimestres, entre 5 sh. et 5 sh. 3 d. Ces chiffres sembleraient donc indiquer, depuis trente ans, une hausse d'au moins 70 à 80 p. 100. Mais si le prix de 1830 pour Abersychan est réellement exact, ce serait là un fait tout à fait exceptionnel, car les auteurs des *Voyages métallurgiques* admettent eux-mêmes 4 sh. comme valeur de la houille dans la généralité des forges en 1825 (2).

Le prix de la houille a subi une hausse de 25 p. 100 depuis trente ans.

Nous pensons, en effet, que le prix de la houille est monté, en moyenne, dans le pays de Galles, depuis trente ans, du prix de 4 sh. à celui de 5 sh. Ce serait, par suite, une hausse réelle de 25 p. 100, qui résulterait à peu près, par égales portions, de l'accroissement de la redevance et de l'élévation du taux de la main-d'œuvre. Mais cette hausse est plus que compensée, au haut fourneau, par l'économie réalisée, pendant la même période, sur le poids du combustible brûlé; en sorte que le prix de revient de la fonte est réellement grevé aujourd'hui par la houille d'une somme moins forte qu'en 1830.

Nature des houilles du pays de Galles.

Nous avons fait connaître déjà la nature spéciale des houilles du pays de Galles. Ce sont essentiellement des charbons à courte flamme, brûlant avec lenteur et sans fumée abondante. Le tome II des mémoires du *Geological Survey* donne la compositiou

(1) *Voyages métallurgiques*, tome I, page 353.
(2) *Voyages métallurgiques*, tome I, pages 345 et 346.

élémentaire d'un très-grand nombre de ces houilles. On y trouve, comme combustibles extrêmes, des anthracites proprement dites, laissant 92 à 93 p. 100 de résidu fixe, et des houilles grasses ordinaires (de Pontypool, par exemple) qui perdent jusqu'à 35 p. 100 de matières volatiles. Mais la plupart des houilles du district des forges sont à égale distance de ces deux extrêmes, et laissent en moyenne, au creuset fermé, abstraction faite des cendres, 75 à 80 p. 100 de coke compacte bien aggloméré. Ces houilles moyennes à courte flamme caractérisent surtout le district de Cardiff, au centre, tandis que celui de Newport, à l'est, renferme en partie des charbons plus chargés de gaz, ne donnant en vase clos que 65 à 70 p. 100 de coke, et celui de Swansea, à l'ouest, de nombreux charbons anthraciteux à 85 ou 90 p. 100 de résidu fixe.

Agglomération et carbonisation des houilles.

Ces houilles sont, par suite, essentiellement propres à être employées à l'état cru au haut fourneau; et, en effet, on les emploie telles dans bon nombre d'usines. Mais on a vu aussi que ces charbons, précisément parce qu'ils sont à courte flamme, sont plus tendres et plus friables que ceux des autres districts du Royaume-Uni. La proportion de menu est par cela même plus forte qu'ailleurs, et ce menu ne saurait être employé au haut fourneau, à moins d'être aggloméré ou carbonisé. L'agglomération n'est pas mise en pratique, jusqu'à ce jour, pour le service des hauts fourneaux, mais le sera sans doute un jour dans le district des charbons anthraciteux (vallée de Swansea). Par contre la carbonisation est appliquée à la fois au gros et au menu, et nous avons vu déjà que, quant au *gros*, on a surtout en vue la *désulfuration* du combustible, afin de produire des fontes plus pures. Cette opération se fait alors toujours en longues meules

rectangulaires, plus ou moins couvertes; ou bien, lorsqu'on veut carboniser simultanément le gros et le menu, sur des aires dallées entourées de murs qui sont munis de carnaux (Pontypool, Abersychan). Mais en général on carbonise isolément le menu collant, et alors on se sert généralement, dans le pays de Galles, de fours rectangulaires à une porte et à voûte cylindrique (Ebbwvale, Dowlais, etc.).

Carbonisation en fours à Dowlais.

A Dowlais, sur le plateau qui est au niveau de chargement des hauts fourneaux, il existe un massif continu de soixante fours pareils, en deux rangées de trente, accolés par le mur de fond. — (Voyez le croquis, Pl. VIII, *fig.* 6). Chaque four mesure approximativement $1^{m},60$ de largeur, 1 mètre de hauteur sous clé et $2^{m},50$ de longueur. La porte a des dimensions égales à la section du four.

Le déchargement se fait mécaniquement par traction. A cet effet, une rainure est pratiquée dans la sole du four; on y place une barre de fer plate, terminée à l'intérieur par une sorte de cadre en forme de bouclier à jour. Une petite machine à vapeur horizontale (*a*) met en mouvement un tambour en fonte de $0^{m},25$ de diamètre, sur lequel passe, à deux ou trois tours, une forte chaîne sans fin, guidée autour du massif à l'aide de quatre poulies (*m*). A 6 mètres environ au-devant de chaque four est fixé dans le sol un court axe vertical en fer, sur lequel on engage une poulie folle, lorsqu'on veut décharger le four placé en face. Un bout de chaîne, passant sur cette poulie, est alors accroché, par son extrémité extérieure, à l'un des anneaux de la grande chaîne sans fin, et, par l'autre, au bout saillant de la barre de fer placée dans la rainure de la sole du four. La même machine à vapeur peut ainsi décharger successivement chacun des soixante fours. Pour ne pas

briser le coke, la sole est au niveau même de l'aire dallée extérieure, et un chemin de fer, longeant le massif des fours, conduit directement le coke au gueulard des hauts fourneaux.

Chaque four reçoit une charge de 2 mètres cubes, ou 1.600 kil. de houille, dont la hauteur est de $0^{m},50$ à $0^{m},60$. Une opération dure quarante-huit heures et fournit en moyenne une tonne de coke, compacte, bien fondu, en gros prismes, d'un gris d'acier assez foncé.

Les frais de fabrication, évalués approximativement à $1^{f},60$ par tonne de coke, comme nous l'avons dit précédemment, ne sont pas comptés à part; on les confond avec ceux des hauts fourneaux.

Dans les autres usines, la carbonisation du menu se fait dans des appareils et des conditions analogues. On peut s'étonner seulement que l'utilisation du menu soit encore si peu générale dans le district du pays de Galles. Les maîtres de forges anglais trouveraient certainement là une source de bénéfices assez importante, surtout s'ils adoptaient, pour la carbonisation, les fours à parois chauffées et sans admission d'air (fours Appolt ou Belges, mentionnés p. 122).

§ 2. *Minerais de fer.*

Classification des minerais de fer.

Les minerais de fer, fondus dans les usines du pays de Galles, sont essentiellement de deux sortes : le minerai houiller du pays même (*welsh-mines*) et les hématites rouges du nord de l'Angleterre (*red-ores*). Outre cela, certaines usines tirent un peu de minerai riche de l'île d'Elbe, de la côte nord d'Espagne et surtout de la presqu'île du Cornwall. Aucun district de forges du Royaume-Uni ne reçoit autant de minerais étrangers

que le South-Wales. Avec les minerais on refond d'ailleurs, presque dans toutes les usines de ce district, la masse entière des scories de forge.

Quantités relatives des diverses sortes de minerais.

Le poids de ces diverses sortes de minerais, traités annuellement dans les usines du pays de Galles, n'est pas donnée d'une façon complète par les tableaux du *Geological Survey*, mais on peut l'en déduire indirectement d'une manière approchée.

Le poids de la fonte produite en 1858 est de 886.478 tonnes, dont au moins 850.000 tonnes ont été affinées. Or il faut, en moyenne, par tonne de fonte, 2t,400 de minerais et scories; par suite, pour l'année 1858, un total de 2.127.547 tonnes. D'autre part, 100 de fonte donnent à l'affinage 40 à 45, au plus 50, de scories de forge. Ainsi le produit total en scories a été en 1858, dans les usines du pays de Galles, au maximum de 430.000 tonnes (1).

Le poids des *red-ores* fondus la même année dans le pays de Galles est d'environ 580.000 tonnes; car, sur une extraction totale de 877.740 tonnes, environ 300.000 tonnes ont été traitées, selon M. Hunt, dans les autres districts.

Les mêmes états statistiques donnent pour le poids des minerais de la presqu'île du Cornwall (y compris les comtés du Devon et du Somerset), un total de 85.945 tonnes destinées en totalité aux usines du pays de Galles.

Enfin les *welsh-mines* auraient formé, d'après M. Hunt, un total de 752.231 tonnes, dont 24.635 tonnes en hématites brunes, et 727.596 tonnes en minerai lithoïde.

(1) Remarquons en passant, que la proportion moyenne des scories livrées aux hauts fourneaux ne saurait dépasser 20 à 21 p. 100 de la charge totale, puisque 100 de fonte proviennent de 240 de minerais et donnent au maximum 50 de scories.

Restent les minerais étrangers proprement dits, venant d'Espagne et de l'île d'Elbe, dont le poids n'est pas indiqué, mais lequel serait au plus de 50.000 tonnes, d'après les informations recueillies par nous sur les lieux mêmes. Or, si l'on fait la somme de ces diverses quantités, on ne trouve en réalité qu'un total de 1.898.176 tonnes, au lieu de 2.127 547 tonnes; c'est une différence de 230.000 tonnes, qui doit porter principalement sur les minerais du pays, et provenir aussi, en faible partie, d'approvisionnements légués par les années antérieures. Mais, dans tous les cas, il est bien évident que le poids des minerais houillers est notablement plus élevé que celui indiqué par les tableaux statistiques du *Geological Survey;* ce qui confirme l'observation générale déjà faite à ce sujet dans la première partie de notre travail (1).

En résumé, on peut admettre qu'en 1858 on a fondu, approximativement, dans les usines du pays de Galles, les quantités de minerais suivantes :

		p. 100		fonte.	
Minerais du pays (welsh-mines).	980.000t	à 32	donnant	313.000t	
Minerais importés :					
Hématites rouges (red ores)	580.000	à 50		290.000	358.000t
Minerais du Cornwall et du Somerset.	86.000	à 50		43.600	
Minerais étrangers (d'Espagne surtout).	50.000	à 50		25.000	
Scories de forges	430.000	à 30 (2)		215 000	
Total.	2.126.000	produisant		886.000	

(1) *Annales des mines*, tome XIX, page 199. Il est probable que l'erreur vient en partie de l'excédant de poids des tonnes *longweight* de 21 à 23 quintaux, fournies par les mines, sur les tonnes légales *shortweight* de 20 quintaux, adoptées dans les tableaux officiels. C'est une différence de 15 à 20 p. 100.

(2) On sait que nous avons prouvé, page 170, que les scories de forges n'abandonnent à la réduction que la moitié de l'oxyde contenu, lorsque les hauts fourneaux marchent en fonte blanche grenue.

Les minerais importés fournissent plus de fer que les minerais du pays.

On voit par là que les *minerais importés fournissent en définitive plus de fer que ceux du pays*, puisque ces derniers donnent 313 000 tonnes contre 358.000 tonnes, provenant des premiers.

Les hauts fourneaux du pays de Galles ne sont donc pas aussi favorablement situés qu'on le croit généralement en France sous le rapport des minerais.

Observons aussi que s'il y avait quelque erreur dans les chiffres que nous venons de donner, elle porterait spécialement sur les minerais du pays dont nous avons haussé le poids aux dépens des minerais importés. Le chiffre de 358.000 tonnes de fonte provenant de ces derniers est par suite un minimum, et ce chiffre tend à croître d'année en année. Il y a trente ans, d'après les auteurs des *Voyages métallurgiques*, l'emploi des minerais étrangers était tout à fait exceptionnel, et en 1854 le poids des minerais importés n'était encore, d'après Truran, que de 350.000 tonnes (1).

Composition des minerais de fer.

Nous avons fait connaître, dans la partie générale, la nature spéciale de chacun des minerais; nous n'y reviendrons pas. Disons seulement que les minerais houillers du pays de Galles ne sont pas moins purs que ceux du centre et du nord du Royaume-Uni. Ils diffèrent tout au plus de ces derniers par une teneur un peu plus faible, car ils ne rendent, à l'état brut, que 30 à 32 p. 100 de fonte. Si, malgré cela, et malgré l'addition des riches et pures hématites rouges du nord, les fers ordinaires du pays de Galles sont de qualité si inférieure, comparativement à ceux du Staffordshire, cela vient uniquement de la refonte générale des scories de forges et de l'allure spéciale que l'on imprime aux hauts fourneaux. On y produit, au lieu de fontes

(1) Truran, page 176.

grises, des fontes blanches, souvent grenues et caverneuses, que l'on puddle, en outre, trop rapidement et sans le moindre soin. Les fontes et fers, obtenus à Pontypool et Blaenavon et dans quelques autres forges du pays de Galles, prouvent surabondamment que ce district peut donner également des produits supérieurs. Il suffit, pour cela, de supprimer les scories de forge et de modifier convenablement la méthode de traitement.

Position géologique des minerais houillers et nombre des veines.

Les minerais carbonatés du pays de Galles se rencontrent spécialement, comme les houilles, dans l'étage des schistes inférieurs, et surtout dans les parties basses de ces schistes. Le nombre total des veines est considérable; dans certaines parties il monte à près de cent. Ainsi, dans une coupe de la partie ouest du Pembrockeshire, donnée par de la Bèche dans les mémoires du *Geological Survey*, on trouve quatre-vingt-dix-sept veines (1). A Plymouth-Works, près de Merthyr-Tydvil, 82 (2). Ailleurs, où les schistes inférieurs existent seuls,

A Cefn-Crebwr, dans le Glamorgan	31
A Ebbwvale, dans le Monmouth.	27
A Pontypool, dans le Monmouth.	21 (3)

Puissance utile des veines de minerai.

L'épaisseur totale, *utile*, de ces veines varie nécessairement d'un point à un autre du pays de Galles et n'est pas donnée par les mémoires du *Geolog. Survey*, M. Truran l'évalue à 22 pieds (4). Ce chiffre est évidemment de beaucoup exagéré, au moins si l'on ne

(1) *Memoires of the geological Survey*, t. I, p. 161.
(2) *Idem.* t. I, p. 169.
(3) *Idem.* t. I, p. 174 et suiv.
(4) Truran, page 6.

tient compte que des veines exploitables et de l'épaisseur réelle du minerai proprement dit. S'il était exact, le volume du minerai équivaudrait à la moitié du volume de la houille et son poids serait notablement supérieur. Dans ce cas, évidemment, l'exploitation de la houille marcherait infiniment plus vite que celle du minerai, puisqu'on exploite actuellement, par année, 7 millions de tonnes de houille, contre un seul million de minerai; et s'il en était ainsi, on ne comprendrait pas pour quel motif on importe des quantités aussi fortes, et toujours croissantes de minerais étrangers.

Lorsqu'on examine les coupes ci-dessus citées, on voit qu'un très-grand nombre de veines n'ont qu'une épaisseur de 1 à 2 pouces et que la moyenne est certainement inférieure à 3 pouces. Ainsi, dans les localités, où l'on compte quatre-vingts à cent veines, il peut bien se faire que l'épaisseur totale des bancs ferrugineux monte, en effet, à 20 ou 25 pieds, mais la moitié au plus se compose de veines réellement exploitables; et, dans le district proprement dit des forges, où l'on est borné aux schistes inférieurs, c'est-à-dire, à vingt ou trente veines, on ne peut guère compter sur plus de 5 à 7 pieds de minerai exploitable; évaluation qui se rapproche du chiffre de 7 pieds 1/2, donné par les auteurs des *Voyages métallurgiques* (1). Malgré cela on voit, même en adoptant le chiffre inférieur de 5 pieds (1^m,50). que le pays de Galles est riche en minerai, puisque le fer doit s'étendre, comme la houille, sous une superficie de 5 à 600 milles ou de 13 à 1.500 kilomètres quarrés. Mais ce minerai est partout d'une extraction coûteuse. Rarement un même travail d'aba-

(1) Tome I, page 101.

tage comprend plus de deux veines, et bien souvent une seule de 0^m,10 à 0^m,15. C'est le minimum d'épaisseur que l'on puisse alors exploiter. Le maximum de puissance des veines les plus fortes est de 0^m,25 à 0^m,30.

Prix de revient des minerais houillers.

Aussi le prix de revient moyen des 1.000 kil. de minerai est, sur le carreau des puits, de 10 à 12 francs et au gueulard des hauts fourneaux de 11 à 13 francs; la redevance au propriétaire du sol étant de 40 à 50 centimes.

Voici le détail du prix de revient du minerai dans le même établissement pour lequel nous avons donné celui de la houille, page 528. Il correspond aux premiers mois de l'année 1860, et peut être considéré comme sensiblement inférieur à la moyenne ordinaire.

Prix de revient du minerai lithoïde par tonne de 22 quintaux
(2.640 liv. ou 1.196 kil.)

Main-d'œuvre et chevaux :

	sh.	d.	
Abatage	5.	10,1	(1)
Roulage	1.	1,4	
Travaux stériles	1.	2,1	
Travaux divers	0.	2,3	
Transport au fourneau et pesage	0.	22,	
Chevaux (à 4 sh. la journée)	0.	7,2	
Total de la main-d'œuvre	9.	1,3	$9^{sh}.1^d$,3

(1) Les mineurs occupés à l'abatage du minerai gagnent moins que les piqueurs dans les houillères. Lorsque ces derniers font des journées de 4 sh, les premiers ne gagnent que 3 sh. Ceux-ci produisent rarement dans leur journée, au delà de 0^t,50 à 0^t,60 de minerai proprement dit; mais à cause du foisonnement des roches, il faut souvent amener au jour 3 à 4 t. de matières stériles par tonne de minerai pur. Cela explique le prix élevé du roulage comparativement à celui de la houille.

		sh. d.
Report de la main-d'œuvre		9. 1,3
General charges (redevances et matières premières) :	h. d.	
Redevances	0. 4,9	
Bois (la tonne à 26 sh.)	0. 1,4	
Fers et fontes	0. 0,9	
Houille pour machine	0. 1,5	
Chemins de surface	0. 0,4	
Matières diverses	0. 1,7	
Total des *general charges*	0.10,8	0.10,8
Prix de revient total des 22 quintaux rendus au haut fourneau		10. 0,1
ou par 1.000 kil.		10f,55

Dans le même établissement, en 1859, le prix de revient était plus élevé de 50 à 70 centimes ; soit 11 fr. à 11f,25 Dans un autre établissement, nous avons trouvé pour 1859 et par 2.400 liv. :

Main-d'œuvre :	sh. d.
Abatage	5. 5,75
Roulage	1.4,40
Travaux stériles	0.7,98
Cassage et triage	0.2,10
Main-d'œuvre pour l'entretien des voies de transport	0.0,73
Travaux divers	0.3,32
	8. 0,28
General charges : Redevances et fournitures.	2
Prix de revient des 2.400 liv. rendus au haut fourneau	10. 0,28
Ou par 1.000 kil.	11f,62

Ailleurs encore, et pour les années 1854 à 1860 nous avons constaté des chiffres variant entre 9 sh. 6 d. et 11 sh. les 2,400 liv. ou 11 francs et 12f,75 les 1.000 kil.

Le minerai coûte donc, dans le pays de Galles, amené au haut fourneau :

Au minimum, 10f,50.

En moyenne, environ 12 francs.

Et dans quelques établissements exceptionnels, comme Pontypool et Blaenavon, 13f,50 à 15 francs.

Lorsqu'on compare ces prix à ceux de 1830, on reconnaît que la valeur du minerai a haussé plus rapidement que celle de la houille. Au lieu d'un renchérissement de 25 p. 100, on trouve plutôt 40 à 50 p. 100. Ainsi à Abersychan le minerai est coté 6 sh. 8 d. (80 d.) en 1830, tandis que nous avons constaté 10 sh. (120 d.) en 1860; et, dans la plupart des autres établissements, il s'est produit certainement une hausse à peu près équivalente, qui provient surtout de ce que, il y a trente ans, on avait encore des travaux à ciel ouvert, ou des minerais à puits peu profonds (*bell pits*).

Origine et prix des red ores.

Les hématites rouges, ou *red-ores*, du nord de l'Angleterre, qui contribuent si largement à l'approvisionnement des usines du pays de Galles, ont une teneur moyenne de 50 p. 100 ; mais leur prix de revient est à peu près double de celui des *welsh-mines*, car les 1.000 kil. reviennent rendus aux usines au prix de 22f,50 à 25 francs.

Ces minerais, comme on l'a vu dans la partie générale, sont très-peu chargés de soufre et de phosphore. Traités seuls ils donnent de bonnes fontes de forge, mais ils sont plus siliceux, plus compactes et moins réductibles que les minerais houillers grillés. Ils se rapprochent par ce côté des scories de forge.

Les hématites rouges viennent du Lancashire dans la proportion de 70 à 75 p. 100, et du Cumberland dans celle de 20 à 25 p. 100. Les minerais calcaires de la forêt de Dean n'atteignent pas 10 p. 100. Les *red-ores* du Lancashire sont amenés par le *Furness railway* au port de *Barrow* (voy. carte *pl.* 5 du tome XIX).

	sh. d.	sh. d.
Leur prix est sur ce point.	de 10.6 à	11.6 (*)
Le fret de Barrow à Cardiff ou Newport. .	de 5.0 à	5.6
Et le transport par chemin de fer de Cardiff ou Newport aux usines.	de 2.6 à	2.6
Prix de revient des 2.240 liv. ou 1.015 kil.	de 18.6 à	19.6
Le minerai plus riche du Cumberland, embarqué à Whitehaven, coûte	12.0 à	14.0
Fret jusqu'à Cardiff ou Newport	5.0 à	5 6
Transport aux usines.	2.6 à	2.6
Prix de revient des 2.240 liv. ou 1.015 kil. . .	19.6 à	22.6

(*) La tonne de 2.240 liv.

Minerais de la presqu'île du Cornwall.

Les autres minerais importés, fondus dans les usines du pays de Galles, sont tout aussi chers. Ainsi les fers spathiques et hématites brunes du Somerset et du Cornwall coûtent 18 à 22 sh. la tonne de 1.015 kil.

Minerais d'Espagne.

Les minerais d'Espagne (*Garrutcha* ou *Sommo Rostro*) se payent 17 sh. à 19 sh. 6 d. et ceux de l'île d'Elbe, d'un emploi tout à fait exceptionnel, 24 à 25 sh. Au reste ces deux contrées ne fournissent pas 2 p. 100 du poids total des minerais.

Scories de forge employées comme minerais.

Mais il est un dernier minerai spécial, dont le rôle est extrêmement important dans les usines du pays de Galles: ce sont les *scories de forges*, dont la proportion s'élève à 20 ou 21 p. 100 de la charge moyenne des hauts fourneaux gallois. Ce sont ces scories seules qui permettent au pays de Galles, à cause du haut prix de ses minerais ordinaires, de lutter avec l'Écosse et surtout avec le Cleveland. Mais, d'un autre côté, ce sont ces scories aussi qui sont l'unique cause de l'infériorité si prononcée des fers du South-Wales.

Le phosphore de la fonte se concentre dans ces scories, du moins dans celles qui proviennent du mazéage ou puddlage direct, pour reparaître sans cesse, en majeure partie dans les fontes, et cela avec une proportion élevée de silicium, malgré l'allure, d'ailleurs très-froide, des hauts fourneaux.

Berthier a trouvé, dans des scories de fineries anglaises jusqu'à 7 p. 100 d'acide phosphorique, et seulement 1/2 p. 100 dans celles du puddlage de la fonte mazée. Mais il est bien évident que lorsqu'on puddle *directement* la fonte *brute*, les crasses des fours à puddler doivent alors retenir autant de phosphore que celles du mazéage.

Les scories de forge sont au reste, quelle que soit leur origine, des minerais riches, tenant de 60 à 80 p. 100 d'oxyde de fer, pour 10 à 25 p. 100 de silice. Seulement leur emploi n'est pas aussi profitable que leur teneur élevée semblerait le promettre, puisqu'il paraît constant, d'après l'exemple de Dowlais (p. 170), que ces scories ne donnent, dans les hauts fourneaux gallois, à allure froide, que 30 p. 100 de fonte, et laissent dans les laitiers l'autre moitié de l'oxyde de fer.

Prix de revient des scories.

Dans quelques établissements, on n'attribue aux scories qu'une valeur égale aux frais faits pour les conduire de la forge au gueulard du haut fourneau. Ailleurs on les cote au prix où d'autres forges les vendent aux hauts fourneaux voisins. Dans le premier cas, la tonne coûte, selon les lieux, 3 à 6 d., c'est-à dire 30 à 60 centimes; dans le second, 2 à 3 sh. (2f,50 à 3,f75).

Grillage des minerais.

Les minerais houillers du pays de Galles sont grillés en fours (*kilns*). Nous avons fait connaître (p. 127) les dispositions de ces appareils et les frais qu'entraîne cette opération. Elle coûte 30 centimes par tonne et occasionne un déchet de 25 à 30 p. 100.

Le grillage en tas est plus coûteux et ne s'emploie que lorsque, comme à Yniscedwin et Ystalyfera, près

de Swansea, on a des minerais schisteux, mêlés de houille, analogues au blackband d'Écosse.

§ 3. *Castine.*

Origine de la castine.

La castine des usines du pays de Galles provient exclusivement du calcaire carbonifère; et, comme les mines sont presque toutes situées le long de la lisière nord du dépôt houiller, où le calcaire ressort au jour; on exploite ce dernier à ciel ouvert, dans des carrières rarement distantes des hauts fourneaux de plus de 3 à 4 milles (5 à 7 kilom.)

Le transport aux usines se fait, le plus souvent, par chemins de fer privés, sur lesquels le fret varie de 1 d. à 1^{d},5 par tonne et mille.

Prix de revient de la castine.

Dans la plupart des usines le prix de la castine varie entre 1 sh. 8 d. et 2 sh. 2 d. la tonne *longweight* de 22 quintaux, et le prix se décompose ainsi :

	sh. d.		sh. d.
Main-d'œuvre pour déblayage et extraction.	1. 0,0	à	1. 3
Fournitures diverses.	0. 3,0	à	0. 3
Redevance au propriétaire.	0. 2,5	à	0. 3
Transport de 3 à 4 milles.	0. 3,0	à	0. 5
Prix de revient total.	1. 8,5	à	2. 2

M. Truran cite un prix exceptionnel de 8 d. 5 pour l'année 1843, où le taux de la main-d'œuvre était fort bas et la redevance de 1 d. 4. Mais aujourd'hui on trouverait peu d'usines où la castine coûte moins de 1 sh. 6. d. Néanmoins elle a plutôt baissé de prix depuis trente ans, à cause de l'établissement des voies ferrées, car dans les *Voyages métallurgiques* on cite des prix allant de 1 sh. 6 d. à 3 sh. 6 d.

En résumé, dans la plupart des mines du pays de Galles les 1.000 kil. de castine coûtent aujourd'hui, rendus au haut fourneau, 1^{f},70 à 2^{f},25.

CHAPITRE XI.

FABRICATION PROPREMENT DITE DE LA FONTE.

§ 1. *Profil, agencement et allure des hauts fourneaux du pays de Galles.*

Le pays de Galles fournit deux sortes de fontes.

On sait que le pays de Galles fournit spécialement des fontes de forge blanches, pour rails et fers communs, fontes presque toujours peu carburées, d'apparence grenue ou caverneuse. Cependant, outre cette fabrication, que l'on pourrait appeler *normale*, quelques forges produisent plus spécialement des fontes grises supérieures pour moulage et fers spéciaux: ce sont Pontypool, Blaenavon, Beaufort, Gadlys, Ynisced-win, etc., usines auxquelles viennent parfois se joindre un ou deux hauts fourneaux des grands établissements de Dowlais, Ebbwvale, Cyfarthfa, etc., fabriquant de la fonte de moulage pour leur propre usage. Cependant le poids total de cette sorte de fonte ne dépasse pas annuellement 60 à 70.000 tonnes, soit 7 à 8 p. 100 de la production totale.

Ces produits si opposés s'obtiennent nécessairement dans des conditions très-différentes:

Fontes grises.

Pour les fontes *grises* de bonne qualité on recherche, autant que possible, des combustibles et minerais houillers purs; on ajoute peu ou point de red-ores, exclut entièrement les scories de forge et marche toujours au coke et souvent à l'air froid. L'air chaud favorise cependant, on le sait, l'allure chaude, mais c'est aux dépens de la ténacité. Ainsi à Beaufort, où le vent est chauffé, on obtient, comme en Écosse, des fontes *noires* tendres, plutôt que des fontes grises (*bright*) tenaces.

Fontes blanches.

Pour les fontes *blanches* de forge, on charge 30 à 40 p. 100 de minerais riches peu réductibles (des *red-ores* siliceux principalement) et 20 à 25 p. 100 de scories de forge. De plus, on alimente les fourneaux au vent chaud et à la houille crue, ou du moins, en général, au mélange de houille crue et de coke, afin de ne pas laisser sans emploi le menu collant.

Profil des hauts fourneaux pour fontes grises.

On a vu aussi, dans les chapitres II à IV, que pour la fonte *grise* on se servait, dans les usines du pays de Galles, de hauts fourneaux à ouvrage (*pl.* VI, *fig.* 5 et 6) ; que la descente des charges y était lente, c'est-à dire, le vide intérieur des hauts fourneaux, comme en Écosse, de 7 à 8 mètres cubes par chaque tonne de fonte produite dans les vingt-quatre heures; de plus, que pour ce même poids de fonte, on consommait une proportion élevée de vent et de castine: savoir 8.000 mètres cubes d'air et $0^t,90$ à $1^t,10$ de calcaire.

Profil des hauts fourneaux pour fontes blanches.

La fonte *blanche*. par contre, s'obtient dans des hauts fourneaux sans ouvrage, mais à ventre élevé ; ou, du moins, à sections inférieures un peu moins considérables que ceux d'Écosse quoique encore fort larges. (*pl.* VI, *fig.* 10 à 14). La descente des charges est toujours rapide, le vide intérieur ne dépassant pas 5 à 6 mètres cubes par tonne de fonte produite dans les vingt-quatre heures; la proportion de vent est réduite à 5 ou 6.000 mètres cubes et celle de la castine à $0^t,70$ ou $0^t,80$.

Dimensions des hauts fourneaux du pays de Galles.

Les détails, déjà donnés dans le chapitre II, sur les profils et dimensions des hauts fourneaux, nous dispensent d'y revenir. Rappelons seulement qu'outre les différences, que nous venons de rappeler, et qui se rapportent spécialement à la nature de la fonte, les hauts fourneaux du pays de Galles se distinguent encore de ceux du nord de l'Angleterre par leur faible hauteur:

celle-ci dépasse rarement 13 à 14 mètres; et lorsque le combustible est friable, comme dans le district anthraciteux de Swansea, elle est même toujours au-dessous de 12 mètres. La hauteur des fourneaux ne dépend donc pas, comme on le pensait jadis, de la densité du combustible ou de celle du vent, mais bien plutôt de la friabilité du charbon et de la consistance des minerais.

Les dimensions transversales de la partie haute des hauts fourneaux gallois sont par contre presque toujours fort grandes: des ventres de 4 à 6 mètres, et des gueulards de $2^m,50$ à $3^m,30$. C'est l'accroissement progressif de la largeur de la cuve qui a permis, depuis trente ans, de doubler et au delà le volume du vent et, par suite, la production des fourneaux, sans modifier en rien la vitesse des charges.

Appareils accessoires des hauts fourneaux.

Quant aux éléments ou appareils accessoires des fourneaux, il nous reste également peu de chose à en dire. L'emploi des gaz date, en South-Wales, de l'année 1845, et n'est encore appliqué qu'à la moitié environ des hauts fourneaux. On craint la réduction inégale du minerai. Nous avons signalé, comme fort utile dans ce cas, le cône à la fois distributeur et obturateur de certains hauts fourneaux du pays de Galles, de ceux en particulier qui appartiennent à la compagnie d'Ebbw-vale (Pl. VI, *fig.* 11). Le système est efficace, en effet, pour prévenir les inconvénients de la prise des gaz et le tassement central de la charge, pourvu toutefois que les gueulards ne soient pas trop larges.

Nous avons également fait connaître les vices de l'appareil à air chaud, généralement employé dans les usines du pays de Galles, et les inconvénients des tuyères placées à divers niveaux, de celles surtout que

l'on implante au milieu de la tympe (Ebbwvale et Abersychan). Cette multiplication outrée des tuyères est, au surplus, comme en Écosse, une conséquence de la trop grande section donnée à l'ouvrage.

Allure des hauts fourneaux.

Il nous paraît, enfin, inutile de revenir, en détail, sur la marche spéciale des hauts fourneaux, leur mode de chargement, de soufflage, etc. On sait que les fontes de forge communes s'obtiennent en s'attachant à conserver une allure très-froide, à quoi, au reste, on ne réussit généralement que trop, grâce à la proportion énorme des scories ajoutées. En moyenne elle est de 20 p. 100; mais souvent, comme on peut s'en convaincre par les exemples tirés de l'usine de Dowlais (p. 170), elle atteint 25, 30 et jusqu'à 40 p. 100. On fond même quelquefois exceptionnellement des scories seules ou presque seules. Les fontes, ainsi produites, sont nécessairement d'autant moins carburées et plus phosphoreuses que le lit de fusion est plus chargé en scories. Lorsque la proportion dépasse 25 p. 100, les fontes sont toujours grenues ou caverneuses, et les laitiers correspondants entièrement noirs et boursouflés; puis, à mesure que les scories diminuent, les fontes prennent de plus en plus la structure cristalline, fibreuse d'abord, largement lamelleuse ensuite avec tendance à passer au truité. C'est ce mélange de fonte lamelleuse et truitée que l'on cherche à obtenir, lorsqu'on veut fabriquer des fers marchands ordinaires, ou des rails au-dessus de la moyenne comme à Cyfarthfa près de Merthyr-Tydvil.

Enfin, lorsqu'on supprime entièrement les scories, le produit normal est gris; et nous avons montré que, dans ce cas, à tous les points de vue, à cause du bas prix du combustible et de la cherté des minerais, les fondeurs gallois avaient, en effet, tout intérêt à éviter avec soin l'allure froide.

Disons ici, qu'outre les quelques hauts fourneaux exceptionnels du South-Wales, déjà plusieurs fois nommés, ceux de la forêt de Dean produisent aussi en général de bonnes fontes grises pour forge. On les vend, soit dans le pays même, soit aux usines du pays de Galles, pour la fabrication du fer-blanc et de la tôle fine.

Combustible des hauts fourneaux gallois.

Le combustible employé, dans le pays de Galles, pour la fusion du minerai de fer, est le coke, la houille crue ou l'anthracite.

Hauts fourneaux marchant au coke.

A l'est, dans le Monmouthshire, où les houilles sont collantes, l'emploi du coke est prédominant, et le deviendra sans doute de jour en jour davantage, car, indépendamment de sa pureté relative, au point de vue du soufre, il offre encore l'avantage de fournir un emploi utile au menu charbon, dont la valeur est si faible. Ainsi, dans les usines d'Ebbwvale, Victoria, Sirhowy, Tredegare, on marche en général avec moitié ou deux tiers de coke, même lorsqu'on produit des fontes de qualité inférieure; et, dans tous les cas, pour les produits supérieurs, on charge exclusivement du coke, fabriqué alors, au moins en partie, avec de la houille en morceaux, carbonisée en meules. (Pontypool, Blaenavon, Cyfarthfa, etc.).

Hauts fourneaux marchant à la houille crue.

Au centre du pays de Galles, dans le Glamorgan, dont les charbons sont plus maigres, la houille crue est, par ce motif, d'un emploi plus général (*Dowlais*). Quelques couches seulement fournissent du menu gras.

Hauts fourneaux alimentés à l'anthracite.

A l'ouest, dans le district de Swansea, les charbons sont tout à fait maigres. C'est là que sont les usines d'Ystalyfera et d'Yniscedwin, où depuis vingt ans on produit de la fonte à l'anthracite. Cependant, même dans ce district, on fait encore partiellement usage de

coke. A Ystalyfera la plupart des huit hauts fourneaux, que nous avons vus en feu, recevaient un mélange de coke et d'anthracite, le coke venant d'exploitations situées à plusieurs milles à l'est.

L'emploi de l'anthracite n'offre d'ailleurs rien de bien spécial, si ce n'est des fourneaux moins élevés, un vent plus pressé et toujours très-chaud (0^{m},16 à 0^{m},21 et 350° à 400°), une poitrine plus ou moins ouverte pour l'expulsion du fraisil qui exige en outre, comme nous l'avons dit, des purges fréquentes à la pelle et au crochet. Ce combustible menu engendre parfois des engorgements dans la région de fusion, et c'est pour les combattre plus aisément que l'on a installé, à Ystalyfera comme à Yniscedwin, trois tuyères dans chacune des embrasures, celle du milieu étant à 0^{m},15 ou 0^{m},20 au-dessus des deux autres et spécialement destinée à fonctionner en cas d'embarras manifeste.

L'allure des hauts fourneaux à l'anthracite varie comme celle des fourneaux ordinaires et se reconnaît à des caractères identiques. A Yniscedwin et dans quelques-uns des hauts fourneaux d'Ystalyfera on cherche à produire des fontes grises ou truitées, pour moulage et fers spéciaux, en fondant le minerai houiller seul, ou avec faible addition de *red ores* (30 p. 100 au maximum). Les autres hauts fourneaux d'Ystalyfera reçoivent en outre des scories de forge et donnent de la fonte blanche ordinaire pour rails.

Le gaz des hauts fourneaux à l'anthracite est utilisé pour le chauffage des chaudières et du vent, comme celui des hauts fourneaux au coke. A Yniscedwin on se sert, comme à Ebbwvale, du cône obturateur et distributeur destiné à rejeter la charge vers le pourtour de la cuve.

Le menu maigre du district central et des environs

de Swansea n'est pas employé dans les hauts fourneaux et ne saurait l'être directement. Mais on pourrait le transformer en coke, en le mêlant à du menu plus gras, ou à du brai pulvérisé, selon la méthode, précédemment décrite de M. Blackwell, p. 125. Ou mieux, comme la houille collante et le brai ne tarderaient pas à manquer bientôt, il serait préférable, sans doute, comme nous l'avons dit ci-dessus, de charger le menu sous forme de briquettes.

Apparence des laitiers.

Les laitiers des hauts fourneaux gallois, marchant en fonte pour rails, sont noirs, bulleux, lourds, riches en fer. Rien ne dénote alors la présence du manganèse. Mais on le reconnaît, de suite, à la nuance jaune-olive si caractéristique du sulfure de manganèse, dès que la charge en scories est nulle ou faible, l'allure chaude et la fonte grise ou truitée. On peut spécialement observer la teinte en question à Blaenavon, Pontypool, Yniscedwin, etc. C'est grâce au manganèse, nous ne saurions assez le répéter, que les minerais houillers anglais peuvent donner de bons produits, malgré leur forte teneur en soufre et en phosphore.

§ 2. *Résultats généraux.*

1° *Consommations et produits des hauts fourneaux du South-Wales.*

Production maximum du pays de Galles.

On a vu, par le résumé historique du chapitre IX, que le sud du pays de Galles renferme deux cents hauts fourneaux, dont cent soixante-quinze pourraient marcher simultanément, avec une production moyenne de 20 tonnes par jour ou de 7.000 par an (1). Ce serait,

(1) 20 tonnes est la moyenne de tous les fourneaux marchant en fonte grise et fonte blanche. Mais lorsqu'on considère isolément ceux qui produisent de la fonte pour rails à l'air chaud, les 20 tonnes sont plutôt un *minimum*.

pour les cent soixante-quinze fourneaux, un maximum possible de 1.225.000 tonnes. Mais en réalité, malgré l'assertion contraire de M. Truran, le pays de Galles ne paraît avoir jamais dépassé le chiffre de 1 million; bien plus, depuis trois ans, le nombre des fourneaux en feu est au-dessous de cent cinquante, et la production totale à peine de 900,000 tonnes. Sur ce chiffre, on peut admettre :

	tonnes.
En fonte inférieure pour rails, 75 à 80 p. 100 ou	700.000
En fonte ordinaire pour fers marchands, 15 p. 100	135.000
En fonte supérieure pour moulages et fers spéciaux 7 à 8 p. 100	65.000
Total	900.000

A ces quantités viennent d'ailleurs s'ajouter les 20 à 25,000 tonnes de fonte de forge grise de bonne qualité de la forêt de Dean.

Fontes blanches pour rails.

La marche des fourneaux du pays de Galles, donnant de la fonte blanche pour rails, est résumée dans les six dernières colonnes horizontales des tableaux généraux rapportés pages 138 et 174.

Elle peut se traduire ainsi :

Résultats généraux des hauts fourneaux marchant en fonte pour rails.

La production minimum des hauts fourneaux à fonte pour rails est de 20 tonnes par vingt-quatre heures; bon nombre vont à 25 ou 30 tonnes, et le grand fourneau de Dowlais à 45 ou même 50 tonnes.

Ces chiffres sont sensiblement proportionnels à la capacité totale des cuves, car par tonne de fonte on trouve dans toutes ces usines des capacités comprises entre 5 et 6 mètres cubes.

La pression du vent oscille entre $0^{m},12$ et $0^{m},16$;

Sa température entre 300° et 350°.

Le volume du vent, réellement consommé, mesuré à la température ordinaire, est en moyenne de $0^{mc},60$ à

$0^{mc},70$ par minute et mètre cube de la capacité totale des fourneaux, ou de 5 à 6.000 mètres cubes par tonne de fonte blanche.

Pour produire une tonne de pareille fonte, on consomme :

$2^{t},400$ à $2^{t},750$ de minerais et scories, et ce mélange se compose en général de

Minerais houillers grillés du pays (*welsh-mines*)	40 à 50
Minerais importés (principalement des *red-ores*)	40 à 25
Scories de forges	20 à 25
Total	100

auquel on ajoute, comme fondant, 30 à 35 de castine. Il faut toutefois rappeler que, pour les fontes tout à fait inférieures, la proportion de scories va parfois à 30 ou 40 p. 100.

Le combustible consommé varie entre des limites assez larges, même pour des fontes presque identiques; cela tient à la nature propre des charbons et à la charge si variable en coke et houille crue. La consommation est, au reste, toujours exprimée en houille et non par le poids du coke.

Lorsqu'on charge exclusivement de la houille maigre et des minerais riches et fusibles, d'une teneur de 40 à 50 p. 100, on ne consomme quelquefois par tonne de fonte, pour la fusion proprement dite, que $1^{t},50$ à $1^{t},75$ de combustible cru; mais le plus souvent, et surtout lorsqu'on marche au mélange de houille et de coke, la consommation atteint $1^{t},90$ à 2 tonnes. Dans les deux cas, il faut ajouter, pour le chauffage des chaudières et du vent, $0^{t},20$ à $0^{t},25$ de charbon en cas d'emploi des gaz, et $0^{t},35$ à $0^{t},50$ en cas de non-emploi.

Lorsque les minerais grillés mêlés de scories ne rendent que 38 à 40 p. 100, et lorsque la houille est bitumineuse, on en consomme jusqu'à $2^{t},20$ et parfois

2t,35 à 2t,40. Ces derniers chiffres sont relatifs aux usines de Tredegare et d'Ebbwvale. Ils s'expliquent par la faible teneur des minerais, la forte charge en coke (2/3 pour 1/3 de houille) et la nature relativement peu carburée des houilles de cette partie du bassin (1).

La consommation redescend à 2 tonnes dans l'usine Sirhowy, où l'on charge moitié houille crue et de la chaux vive au lieu de calcaire.

La nature des houilles influe aussi sur le poids total des matières fondues. A Dowlais, où l'on marche à la houille crue maigre, la tonne de charbon fond 1t,70 de minerai et castine.

A Ebbwvale et Tredegare, par les motifs que nous venons de signaler, au plus 1t,40 à 1t,50.

A Sirhowy, on remonte à 1t, 57, à cause de la chaux vive employée comme fondant.

Résultats des hauts fourneaux marchant en fonte grise supérieure.

Des fontes blanches pour rails, passons aux fontes grises supérieures, pour revenir ensuite aux variétés intermédiaires.

Les fontes grises du pays de Galles sont de deux sortes et proviennent de deux points diamétralement opposés. A l'ouest, auprès de Swansea, les fontes à l'anthracite et à l'air chaud; à l'est, aux environs de Newport, les fontes au coke et à l'air froid de Blaenavon et Pontypool (2).

1° Fontes grises à l'anthracite et à l'air chaud.

Les premières s'obtiennent avec 2t,350 à 2t,400 de minerais, dont deux tiers au moins de carbonates houillers grillés et un tiers au plus d'hématites riches du Lancashire.

Le poids de l'anthracite brûlée est de 1t,5. C'est

(1) Elles renferment 30 à 35 p. 100 de matières volatiles.

(2) On fabrique cependant aussi de bonnes fontes grises à l'air froid, aux hauts fourneaux de *Gadlys*, dans la Taff-Vallée située au centre du South-Wales.

peu en apparence lorsqu'on rapproche ce chiffre des consommations relatives à la fonte blanche; mais au fond il n'a rien d'exceptionnel, car il faut comparer non les combustibles *bruts*, mais les proportions relatives de carbone *fixe :* on trouve alors que, par tonne de fonte blanche, grenue ou fibreuse, on ne consomme que 1t,15 à 1t,20 de carbone proprement dit, tandis qu'on en brûle 1t,50 pour la fonte grise à l'anthracite; c'est bien le rapport qui existe en général, toutes choses égales d'ailleurs, entre les poids des combustibles consommés pour les fontes blanches et les fontes grises.

Ainsi le tableau de la page 175 montre que, dans les usines du Staffordshire, on consomme également, par tonne de fonte grise, 1t,50 de carbone fixe, sous forme de houille à très-longue flamme. En Écosse, avec des charbons identiques, on en brûle beaucoup moins (1t,10 à 1t,25), et cela pour des fontes tout à fait noires; mais aussi les minerais y rendent 55 à 60 p. 100, au lieu de 40 à 42 p. 100.

L'influence de la proportion élevée du carbone fixe se manifeste également par le poids du lit de fusion fondu. Dans les usines alimentées à l'anthracite, il est de 1t,82, lorsque dans le Staffordshire il est à peine de 0t,90 et en Écosse de 1 tonne à 1t,22 par tonne de combustible brut.

2° Fontes grises à l'air froid.

Les fontes au coke et à l'air froid de Pontypool et Blaenavon proviennent de 2t,700 à 2t,800 de minerai, dont 85 à 90 p. 100 de carbonate houiller grillé et au plus 15 p. 100 de minerais étrangers. Le poids de la castine varie de 0t,90 à 1t,20, chiffre élevé, dû à la forte proportion de minerai argileux et au poids non moins considérable de combustible consommé, dont il faut fondre les cendres.

Le tableau de la page 175 donne 1t,95 de coke, ou 3t,05 de houille par tonne de fonte produite à Blaenavon. Mais, comme moyenne, ce chiffre est un peu faible, car à Pontypool on use 2t,15 à 2t,50 de coke, provenant de 3t,50 à 4 tonnes de houille. C'est par suite, dans ce dernier cas, 2 tonnes de carbone fixe, et à Blaenavon 1t,75. Ainsi, dans les deux usines, la consommation est forte comparativement à celle du Staffordshire (1t,50), et l'on voit là d'une façon très-nette l'influence de l'air chaud, dont nous aurons à reparler dans un instant.

Enfin, lorsqu'on évalue, par tonne de houille, le poids total des matières fondues, on trouve 1t,20 à Blaenavon et 1 tonne à Pontypool; chiffre élevé comparativement aux résultats fournis par les usines à l'air chaud du Staffordshire. On reconnaît là, comme dans le district anthraciteux, l'influence des houilles riches en carbone du pays de Galles.

Classement des fontes blanches.

Les fontes pour rails ne subissent aucun classement spécial; on ne les divise jamais en numéros. Et, au fond, cela n'est pas nécessaire, puisqu'elles ne se vendent pas. Dans chaque usine, on met seulement à part les fontes lamelleuses, grenues et caverneuses; et, surtout, on les classe d'après le poids relatif des scories de forge, chargées au haut fourneau, scories dont l'influence, comme on sait, est prédominante sur la qualité des produits.

Classement des fontes grises.

Par contre, on a vu (p. 158), que les fontes grises se divisent généralement en six numéros. Or, pour bien apprécier la marche du haut fourneau, il importe de connaître la proportion relative des numéros produits; voici, quant à ce point, quelques exemples:

A Yniscedwin on vend sur 350 tonnes de production hebdomadaire (par 5 hauts fourneaux), 300 tonnes

comme fonte de forge, aux fabricants de fer-blanc; aussi cherche-t-on à produire spécialement, et par moitiés, les numéros 3 et 4 d'un gris clair brillant (*bright*) et à texture serrée. On évite les numéros plus foncés 1 et 2, dont le placement comme fontes de moulage est assez difficile. A Ystalyfera on s'applique également à produire surtout des fontes à fer-blanc, c'est-à-dire, les numéros 3 et 4 et même le numéro 5 qui est truité (*mottled*).

A Blaenavon, où l'on travaille davantage pour fonte de moulage (1) les produits des quatre hauts fourneaux

---

(1) Les fontes à l'air froid de Blaenavon sont fort appréciées à cause de leur ténacité. D'après un rapport officiel inséré dans le n° 497 des *blue-books* (Enquêtes administratives) les fontes de cette usine occupent à ce point de vue, parmi les fontes anglaises, l'un des premiers rangs.

Trois échantillons analysés à l'École des Mines de Londres, ont donné les résultats suivants:

Carbone	2,64	2,82	3,40
Silicium	1,68	0,81	1,36
Manganèse	0,66	0,53	0,28
Phosphore	0,27	0,38	0,29
Soufre	0,08	0,06	0.07

Les minerais houillers, fondus dans cette usine, renferment d'ailleurs, 0,50 à 1,17 p. 100 de manganèse, assez souvent jusqu'à 1 p. 100 d'acide phosphorique, mais en général très-peu de pyrites de fer. Il semble donc que quelques millièmes de phosphore n'altèrent pas sensiblement la tenacité des fontes. Ce qui importe, c'est l'absence du soufre et une proportion peu élevée de silicium. Les fontes de Pontypool, d'une ténacité un peu moindre, renferment, d'après le même *blue-book*:

Carbone	2,42
Silicium	1,46
Manganèse	0,42
Phosphore	0,32
Soufre	0,12

C'est-à-dire, les mêmes éléments que la fonte de Blaenavon, sauf une proportion à peu près double de soufre.

Si nous comparons ces chiffres aux analyses des fontes d'Écosse (p. 215) on voit clairement que la faible ténacité de

à l'air froid, pendant l'année 1859, ont été classés ainsi :

Fontes de moulage :

	tonnes.	
N° 1.	3.180	7.555 tonnes.
N° 2.	1.451	
N° 3.	2.924	

Fontes de forge :

Grey forge . . . N° 4. . .	3.228	8.915 tonnes.
Common forge. N° 5. . .	1.774	
Inferior forge. . N° 6. . .	3.913	
Total.		16.470 tonnes.

A Pontypool enfin on distingue jusqu'à 8 classes, et l'on cherche à obtenir spécialement les numéros moyens dont la dureté est plus grande que celle des numéros supérieurs d'un gris trop foncé. Sur un produit hebdomadaire de 256 tonnes, en mai 1860, on a obtenu :

	tonnes.	
N° 1. . .	32	Se vendent comme fonte de moulage proprement dite.
N° 2. . .	5	
N° 3. . .	77	Servent surtout pour la fabrication des canons de marine.
N° 4. . .	39 1/2	
N° 5. . .	71	Sont employés spécialement pour la tôle mince et le fer blanc.
N° 6. . .	9	
Truitée N° 7. . .	13	Produits accidentels qualifiés de fonte de forge médiocre.
Blanche N° 8. . .	9 1/2	
Total. . . .	256	

3° Fontes grises ordinaires à l'air chaud.

Si maintenant des fontes grises supérieures, à consommation forte, nous nous rapprochons de nouveau des fontes blanches ordinaires du pays de Galles, nous aurons à mentionner d'abord les fontes grises au vent chaud et au coke de Pontypool, Beaufort, etc. L'exemple de Pontypool nous permettra en particulier de bien apprécier l'influence de l'air chaud sur la consommation.

ces dernières provient bien certainement, comme nous l'avons dit, de la forte proportion de silicium, et très-probablement aussi d'une dose plus élevée de métaux terreux non dosés dans ces analyses.

Au mois d'août 1858 :

Les trois hauts fourneaux à l'air froid avaient consommé, par tonne de fonte :

Coke.	2t,137	
Minerai houiller grillé.	1,810	2t,162
Hématite rouge. . . .	0,352	
Castine.	1,186	
Houille pour soufflerie.	0,342	

et produit en quatre semaines 762 ton. de fonte, ou, par fourneau, 254 tonnes dont un douzième était de la fonte blanche.

Le haut fourneau à l'air chaud avait consommé par tonne de fonte :

Coke.	1t,500	
Minerai houiller grillé.	1,195	1t,923
Hématite rouge. . . .	0,312	
Minerai oolitique. . .	0,106	
Scories de forge. . . .	0,310	
Castine.	1,033	
Houille pour soufflerie.	0,325	

et produit en quatre semaines 512 ton. de fonte dont la moitié était blanche.

On aurait donc ici, à l'air chaud, une marche deux fois plus rapide, et une consommation de 1t,50 au lieu de 2t,37 ; soit une économie de 0t,637 sur 2t,137 ; ou de 30 p. 100. Mais évidemment ces résultats ne sont pas comparables puisque, ni les minerais, ni les fontes ne sont identiques.

En mai 1860, les conditions furent moins différentes ;

Les trois hauts fourneaux à l'air froid ont consommé alors :

Coke.	2t,52	
Minerai houiller grillé. .	2,34	2t,79
Minerai de Lydnay. . . .	0,45	
Castine.	1,20	
Houille pour soufflerie. .	0,22	

et ont produit par semaine les 256 tonnes de fonte dont nous avons donné ci-dessus le classement.

Soit par fourneau 85 tonnes.

Le haut fourneau à l'air chaud a consommé :

Coke.	1t,87	
Minerai houiller grillé. .	1,44	2t,37
Minerai de Lydnay. . . .	0,40	
Minerai spathique du Somerset.	0,53	
Castine.	0,67	
Houille pour soufflerie et air chaud.	0,40	

et a produit par semaine 118 tonnes classées ainsi :

N° 4.	7t 1/2
N° 5.	88t
N° 8.	22t 1/2
Total. . .	118 ton.

On voit, par ces chiffres, que si la rapidité de la marche à l'air froid est représentée par 2, elle le sera par 3 à l'air chaud. De plus, la consommation est ra-

menée de 2t,52 à 1t,87, soit une économie de 0t,65 sur 2t,52 ou de 26 p. 100, économie qui serait réduite à environ 20 p. 100 si les produits étaient tout à fait similaires. Nous trouvons donc ici un chiffre peu différent de ceux que l'on a constatés dans les forges du continent ; et ce résultat vient aussi confirmer ce que nous avons dit des effets de l'air chaud dans les fonderies écossaises.

Ajoutons qu'à Pontypool, comme ailleurs, les fontes à l'air chaud sont plus ternes et moins tenaces que les fontes à l'air froid.

Résumé concernant les consommations en charbon.

En résumé, on voit, par ce qui précède, que si on consomme, pour les bonnes fontes grises à l'air *froid*, 2 tonnes à 2t,50 de coke, ou 3 à 4 tonnes de houille grasse, à 30 ou 35 p. 100 de matières volatiles, les fontes grises ordinaires, à l'air *chaud*, n'exigent que 1t,50 à 1t,90 de coke, soit 2t,50 à 3 tonnes de houille lorsqu'elle est grasse ; ou 2t,70, lorsqu'elle est maigre, comme dans le district central de Merthyr-Tydvil. Enfin lorsque les fontes de forge, comme celles de Cyfarthfa, sont blanches lamelleuses, on brûle en moyenne à l'air chaud, 2t,50, quand on marche au coke, et seulement 2t,20 à 2t,30, quand on charge une notable proportion de houille crue. Ainsi nous revenons aux fontes blanches grenues, que l'on produit, dans le district central, avec 1t,90 à 2 tonnes de houille demi-maigre ; et l'on voit, en définitive, que dans le pays de Galles, selon la nature des minerais, des combustibles et des produits, la consommation peut varier du simple au double (de 2 tonnes à 4 tonnes), ou même de 1t,75 à 4 tonnes, si nous y comprenons les hauts fourneaux alimentés à l'anthracite.

2° *Prix de revient de la fonte dans le South-Wales.*

Les consommations en charbon variant du simple au double, et les charges en minerai pouvant recevoir depuis 0 jusqu'à 40 p. 100 de scories de forge, les prix de revient de la fonte doivent nécessairement différer beaucoup, dans le Pays de Galles, d'une usine à l'autre, et même d'un haut fourneau à son voisin. Néanmoins ces différences disparaissent en grande partie, lorsqu'on se borne aux fontes de qualités semblables. Ainsi le prix de revient de la fonte pour rails ne dépassait nulle part, en juin 1860, époque de notre voyage, les limites de 2 liv. 10 sh. et 3 liv. la tonne de 2.400 liv., intérêts de capitaux non compris ; le chiffre inférieur s'appliquant aux fontes blanches grenues et le supérieur aux fontes blanches lamelleuses. A moins de charger au delà de 25 p. 100 de scories de forge, auquel cas la fonte est de qualité tout à fait inférieure, impropre à être puddlée seule, le coût de la fonte ne peut guère descendre aujourd'hui au-dessous de 2 liv. 10 sh. la tonne *longweight*, soit 2 liv. 6 sh. 8 d. la tonne légale, ou 58 francs les 1.000 kil. Les fontes à excès de scories pourraient seules ne coûter que 55 à 56 francs ; mais, nous le répétons, ces fontes ne peuvent servir que pour les rails les plus inférieurs (*Américains*), et même alors il faut, au moment du puddlage, les associer avec d'autres, moins chargés d'éléments nuisibles. A la vérité M. Truran cite, pour 1843, un prix de revient de 1 liv. 16 sh. 3 d. 6 par tonne de 2.400 liv. (45f,04 les 1.000 kil.), mais en ajoutant, comme nous l'avons déjà rappelé au sujet de cette époque, qu'alors le taux de la main-d'œuvre, et par cela même les prix de la houille et des minerais, étaient exceptionnellement bas (1). Alors, en effet,

Écarts extrêmes du prix de revient des fontes pour rails.

(1) Truran, page 170.

le prix de vente du fer en barres, au port de Liverpool, était arrivé à 4 liv. 12 sh. la tonne légale, chiffre auquel il n'était jamais descendu auparavant, et qu'il n'a atteint qu'une seule fois depuis, en 1852. Dans les circonstances actuelles, une pareille baisse ne saurait plus se produire; toutes les forges se fermeraient ou seraient ruinées. On peut donc considérer 2 liv. 6 sh. par tonne de 2.240 liv. comme une limite inférieure bien difficile, sinon impossible, à franchir.

Prix de revient ordinaire de la fonte pour rails.

Voici, dans les conditions actuelles, de quels éléments se compose le prix de revient de la fonte blanche grenue pour rails, en partant de la charge moyenne des hauts fourneaux de Dowlais, qui ne diffère guère de celle de la plupart des autres usines.

	ton.	sh. den.	sh. den.
Minerai houiller cru 1t,50 (ou grillé)	1,10 à	10. 0	15. 0
Hématite rouge du Lancashire (33 p. 100 de la charge)	0,80	20. 0	16. 0
Scories (21 p. 100 de la charge)	0,50	2. 0	1. 0
Charge totale	2,40	»	32. 0
Castine	0,70	1. 10	1. 3,4
Houille pour hauts fourneaux (en partie à l'état de coke)	2,00	4. 0	8. 0
Houille pour grillage, air chaud et chaudières (en partie menue)	0,25	2. 6	0. 7,5
Main-d'œuvre des hauts fourneaux, du grillage et de la carbonisation	»	»	6. 0
General charges (fournitures et frais généraux sans les intérêts des capitaux)	»	»	2. 1,0
Prix de revient de 2.400 liv. de fonte blanche grenue			49. 11,9
Ou très-approximativement			2liv. 10sh.

Mais, comme nous l'avons dit, c'est là une limite inférieure qui n'est dépassée que lorsqu'on charge 25 à 40 p. 100 de scories de forge. En effet, la main-d'œuvre monte parfois à 7 ou 8 sh.; les *general charges* atteignent 3 à 5 sh.; la houille, dont le prix est coté à 4 sh., s'élève assez souvent à 4 sh. 6 d. au 5 sh. Enfin, lorsque la proportion de coke forme moitié ou deux tiers de la charge en combustible, la consommation est rarement

au-dessous de 2t20 à 2t,25. Alors le prix de revient s'approchera forcément de 2 liv. 12 sh. à 2 liv. 15 sh.; chiffres que nous avons rencontrés effectivement dans plusieurs usines du pays de Galles; et lorsqu'on marche, comme à Cyfarthfa, uniquement au coke et en fonte plutôt lamelleuse que grenue, il peut même atteindre 2 liv. 18 sh. à 3 liv.

Coût de la fonte pour fers marchands ordinaires, ou pour rails supérieurs.

Si maintenant on veut avoir des fontes, non-seulement lamelleuses, ou légèrement truitées, mais encore faiblement chargées de phosphore et de soufre, le prix de revient montera toujours plus, car on devra réduire le poids des scories à près de 10 p. 100 et ne charger que peu de houille crue. Par tonne, les minerais coûteront alors 34 à 35 sh. au lieu de 32 sh. et la consommation en houille s'approchera de 2t,40. En même temps la production sera plus faible, et, par suite, la main-d'œuvre et les frais généraux plus élevés. On arrive alors à des prix de revient de 3 liv. à 3 liv. 5 sh. les 2.400 liv. ou de 69f,55 à 75f,35 les 1.000 kil.

Coût des fontes grises supérieures.

Enfin les fontes grises supérieures sont nécessairement d'un prix notablement plus élevé, puisqu'on supprime toute addition de scories et de houille crue, et que l'on marche, le plus souvent, à l'air froid, avec consommation de 3 à 4 tonnes de houille. La production est d'ailleurs faible dans ce cas, ce qui haussera d'autant la main-d'œuvre et les *general charges*.

Les prix de revient atteignent alors 4 liv. à 4 liv. 5 sh. les 2.400 kil. ou 92f,70 à 98f,50 les 1.000 kil. Citons, comme preuve, le coût détaillé d'une fonte grise tout à fait supérieure à l'air froid.

	t.		sh. d.	sh. d.
Minerai houiller cru 2,80, pesant grillé. . .	2,10	à	12.4,6	31.8
Minerai étranger.	0,55		17.»	9.4
Charge totale en minerais. . .	2,65		» »	44.»
Castine.	1,10		2. »	2.2
Houille pour coke et grillage.	4,45		4.8,0	20.9
Houille pour machine, etc.	0,225		4.8,0	1.»
Main-d'œuvre.	»		» »	11.2
General charges (intérêts non compris). . .	»		» »	6.1
Prix de revient de 2.400 liv.				$4^{liv.}.5^{sh.}.2^{d.}$

Entre ces fontes grises supérieures à l'air froid et les fontes blanches de forge, viennent se placer, comme nous l'avons dit, les fontes grises à l'air chaud, fondues au coke ou à l'anthracite (Beaufort, Yniscedwin, Ystalyfara, forêt de Dean, etc.).

Leur prix de revient oscille entre 3 liv. 5 sh. et 3 liv. 10 sh. la tonne de 2.400 liv.

§ 3. *Débouchés et conditions de vente des fontes du pays de Galles.*

La fonte pour rails n'est pas un produit marchand.

Les fontes de forge ordinaires ne sont presque jamais considérées, dans le pays de Galles, comme un produit marchand. Aux hauts fourneaux sont associés des ateliers de puddlage et des laminoirs, où chaque maître de forges affine ses propres fontes. Leur vente est en quelque sorte un accident, et leur valeur commerciale purement nominale. La qualité de ces fontes est trop variable, trop facilement modifiée par les doses plus ou moins élevées de scories, sans que leurs caractères extérieurs en soient notablement affectés, pour qu'un pareil produit puisse devenir l'objet d'un commerce sérieux. L'absence de toute transaction commerciale empêche à son tour l'accumulation de stocks importants en fonte. Sous ces divers rapports, le pays de Galles et l'Écosse n'ont donc absolument rien de commun. Au sud, union intime des hauts fourneaux et des forges; au nord, indépendance complète des

deux industries et vaste marché de fontes de moulage.

Les seuls produits des hauts fourneaux gallois qui soient réellement un objet de commerce, ce sont les fontes grises ordinaires à l'air chaud, et les fontes supérieures à l'air froid. On les vend spécialement aux fabriques de fers blancs et de tôles minces (fers noirs) qui sont très-nombreuses dans le pays de Galles même. L'exportation proprement dite et presque nulle.

Exportation des fontes grises.

En 1857 elle s'est pourtant élevée à 17.642 t.
Mais en 1858 elle n'atteignait pas même 2.000 t.

Ces fontes furent surtout dirigées vers le nord de l'Europe. Elles sont livrées, franches de port, sous vergues, à Newport, Cardiff ou Swansea. Les frais de transport et d'embarquement, à la charge des maîtres de forges, montent, selon la situation des usines, à 2 ou 3 sh.

Les payements se font à quatre mois de date, ou avec un escompte de 2 1/2 p. 100, indépendamment d'avantages spéciaux, accordés dans le cas de fortes commandes.

Le tableau suivant, relatif aux derniers mois de l'année 1859, fait connaître les prix des diverses sortes de fontes du pays de Galles.

Tableau des prix de vente des fontes du pays de Galles, pendant les derniers mois de 1859 (livrées sous vergues).

NATURE DES PRODUITS.	PRIX de la tonne anglaise de 2,240 liv.	PRIX de la tonne de 1,000 kil.	Observations.
1° *Fontes d'affinage.*			
Fontes blanches grenues pour rails	2£.12^{sh}.6^{d} à 2£.15^{sh}	65^{f},15 à 68^{f},25	(1)
Fontes blanches lamelleuses pour rails supérieurs ou fers communs	3£ à 3£.5^{sh}	74^{f},45 à 80^{f},65	(1)
Fontes grises à l'air chaud pour fers blancs de la forêt de Dean et du district anthraciteux	3£.10^{sh} à 3£.12^{sh}6^{d}	86^{f},90 à 89^{f},90	(2)
Fontes grises à l'air froid de Pontypool et Blaenavon pour fers blancs et fers à canons Armstrong	4£.10^{sh} à 5£.	110^{f},70 à 124^{f},10	(3)
2° *Fontes de moulage.*			
Fontes grises à l'air chaud de Beaufort, etc.	3£.10^{sh}. à 3£.12^{sh}	86^{f},90 à 89^{f},35	(4)
Fontes du district anthraciteux	3£.15^{sh}	93^{f},10	(4)
Fontes à l'air froid de Gadlys près Aberdare	4£.12^{sh}6^{d} à 4£.15^{sh}	114^{f},75 à 117^{f},90	(4)
Fontes à l'air froid de Pontypool et Blaenavon :			
Les n^{os} inférieurs	5£.5^{sh}. à 5£.10^{sh}	130^{f},30 à 136^{f},50	(5)
Les n^{os} supérieurs	5£.15^{sh}. à 6^{l}.	142^{f},75 à 148^{f},90	(6)

(1) Ne se vendent presque jamais; et ne sont pas cotées sur les prix courants

(2) Le prix le plus bas correspond à la fonte truitée, n° 5; le plus élevé à la fonte grise n^{os} 3 et 4 (*bright*).

(3) Les prix les plus bas pour fontes truitées; les prix les plus élevés pour fontes grises (*bright*).

(4) Les n^{os} 1 et 2.

(5) Les n^{os} 3 et 4 de Pontypool ou 2 et 3 de Blaenavon.

(6) Les n^{os} 1 et 2 de Pontypool et n° 1 de Blaenavon.

NOTA. Les fontes de Gadlys, Pontypool et Blaenavon sont employées pour canons de marine et laminoirs.

Ces prix ont éprouvé, en 1860, une légère baisse qui est généralement de 5 sh. sur les fontes inférieures et de 10 sh. sur les fontes supérieures.

A ce tableau détaillé des prix de 1859, nous joindrons le suivant qui donne, pour les vingt-cinq dernières années, les prix des fontes de forge *supérieures* (sous vergues). Ce sont des prix *moyens au-dessus* des-

quels s'élèvent de 10 à 15 sh. les premières marques de Pontypool et Blaenavon et *au-dessous* desquels s'abaissent, d'environ 10 sh., les marques moins estimées de la forêt de Dean et du district anthraciteux.

DATES.	liv. sh.	DATES.	liv. sh. d.	DATES.	liv. sh.
1835		Décembre. . .	3. 5	Septembre. .	3. 10
Septembre. .	5	1844		Décembre. . .	4. 10
1836		Mars.	3. 5	1853	
Janvier. . . .	6	Juin.	3. 10	Mars.	4.
Mars.	8	Septembre. .	3. 15	Juin.	4. 10
Juin.	8	Décembre. . .	3. 15	Septembre. .	4. 10
Septembre. .	7. 10	1845		Décembre. . .	4 10
Décembre. . .	6. 10	Décembre. . .	5. 10	1854	
1837		1846		Mars.	4 10
Mars.	6. 10	Mars.	5.	Juin.	5. 5
Juin.	5	Juin.	4. 10	Septembre. .	4. 15
Septembre. .	6	Septembre. .	5. 5	Décembre. . .	5. 10
Décembre. . .	6. 5	Décembre. . .	5	1855	
1838		1847		Mars.	5
Mars.	6	Mars.	5	Juin.	5
Juin.	6	Juin.	5	Septembre. .	6
Septembre. .	5. 15	Septembre. .	5	Décembre. . .	5
Décembre. . .	5. 15	Décembre. . .	4. 10	1856	
1839		1848		Mars.	4. 15
Mars.	6. 10	Mars.	4. 5	Juin.	4. 15
Juin.	6	Juin.	3. 15	Septembre. .	4. 15
Septembre. .	6	Septembre. .	3. 15	Décembre. . .	4. 15
Décembre. . .	5. 10	Décembre. . .	4.	1857	
1840		1849		Mars.	4. 10
Mars.	5	Mars.	4	Juin.	4. 10
Juin.	4. 5	Juin.	4	Septembre. .	4. 10
Septembre. .	4. 10	Septembre. .	3. 15	Décembre. . .	4.
Décembre. . .	4. 5	Décembre. . .	3. 15	1858	
1841		1850		Mars.	4
Mars.	4. 5	Mars.	3. 5	Juin.	4
Juin.	5	Juin.	3. 5	Septembre. .	4
Septembre. .	4. 5	Septembre. .	3	Décembre. . .	4
Décembre. . .	4	Décembre. . .	3	1859	
1842		1851		Mars.	4
Mars.	4. 15	Mars.	3. 7. 6	Juin.	4
Juin.	3. 15	Juin.	3. 10	Septembre. .	4
Septembre. .	3. 10	Septembre. .	3	Décembre. . .	4
Décembre. . .	3. 15	Décembre. . .	3	1860	
1843		1852		Mars.	4.
Mars.	3. 10	Mars.	2. 15	Juin.	3. 10
Juin.	3. 5	Juin.	3	Septembre. .	3. 10
Septembre. .	3. 15			Décembre. . .	3. 10

Bénéfices des producteurs de fonte.

En comparant les prix de vente aux prix de revient, on voit que, si la période de 1853 à 1857 a été florissante, les bénéfices des fondeurs ont été minimes depuis 1858, et mêmes nuls pendant le cours de l'année 1860. Aussi c'est, en effet, à partir de l'année 1858, que la production du pays de Galles a baissé graduellement.

Le prix de revient minimum de la fonte pour rails (à 21 p. 100 de scories) est, d'après ce qui précède, de 58 francs les 1.000 kil. en forge, ou de 61 francs à 61f,50 sous vergues. Or le prix de vente correspondant (fin 1859) est de 65 à 66 francs, dont il faut encore déduire 2 1/2 p. 100 d'escompte. Reste donc un bénéfice d'auplus 3 francs pour couvrir les intérêts des capitaux engagés!

En 1860 les fontes pour rails éprouvent une nouvelle baisse de 4 à 5 sh. (5 à 6 francs), d'où résulte une perte réelle de 2 à 3 francs, à moins d'opérer de notables réductions sur les *dead-works* (travaux d'avenir) des mines de houille et de fer.

Rappelons cependant que les fontes pour rails ne se vendent, pour ainsi dire jamais, et que les prix de vente ci-dessus indiqués ont en réalité, un sens purement nominal. Malgré cela, il est bien évident que, depuis trois ans, les maîtres de forges du pays de Galles ont plutôt perdu que gagné sur la fabrication proprement dite de la fonte. Nous dirons plus tard, si, aux prix actuels, ils sont plus heureux dans la transformation de la fonte en rails et fers en barres.

CHAPITRE XII.

SITUATION ET CONSISTANCE DES PRINCIPALES USINES A FER DU SOUTH-WALES (1).

Pour compléter l'historique de la fabrication de la fonte, dans le district du pays de Galles, donnons quelques détails sur la consistance et le développement progressif de ses principaux établissements. Nous verrons par là que si leur situation actuelle est précaire, ils ont eu cependant leurs périodes de prospérité, dont quelques maîtres de forges, peu nombreux toutefois, ont su largement profiter.

La plupart des grandes usines du pays de Galles sont situées sur le relèvement nord des schistes inférieurs du bassin houiller, à 15 ou 20 milles de la mer, et, en général, non loin de l'origine des vallées transversales qui sillonnent ce bassin du nord au sud. Nous avons dit qu'en 1857 trente-neuf usines avec cent soixante-treize hauts fourneaux fonctionnaient dans le district à charbons bitumineux et dix avec trente-quatre hauts fourneaux dans le district à charbon anthraciteux. Nous allons rapidement les passer en revue, en les suivant de l'est à l'ouest. Mais rappelons d'abord, que les usines orientales sont reliées au port de Newport, celles du centre à Cardiff, et les usines de l'ouest à Swansea, et qu'en général on trouve partout, suivant ces directions, canaux et rails-ways.

(1) Nous extrayons la plupart de ces renseignements d'une note manuscrite que nous devons à l'obligeance d'un ingénieur technique de la contrée, chargé de la direction de plusieurs mines du comté de Monmouth. Quoique ces détails se rapportent aux forges aussi bien qu'aux hauts fourneaux, nous croyons devoir néanmoins les placer ici.

1° District oriental. Usines de la compagnie d'Ebbwvale.

A l'est, dans le Monmouthsire sur la lisière méridionale du Brecknokshire, la plus considérable des compagnies actuelles est celle d'Ebbwvale. Elle fabrique annuellement environ 90.000 tonnes de rails et fers en barres, et exporte en outre, par Newport, au delà de 100.000 tonnes de houille.

Cette compagnie possède :

19 hauts fourneaux ;
192 fours à puddler ;
99 fours à réchauffer.
Et 1.000 à 1.200 maisons d'ouvriers.

Ses amodiations houillères comprennent 7.500 acres (3.000 hectares) de terrain, et le nombre de ses ouvriers effectifs est de 8.000.

Mais tous ces éléments ne sont pas réunis sur un même point, et n'ont été fusionnés en une seule affaire que depuis peu d'années, à la suite de plusieurs liquidations successives des sociétés primitives.

Les établissements de la compagnie d'Ebbwvale constituent réellement six usines distinctes, sans compter Pontypool qui, sous une raison spéciale, appartient également aux principaux intéressés de la compagnie d'Ebbwvale. Ces six usines sont groupées autour de deux centres : *Ebbwvale*, près du relèvement nord, et *Pontypool*, non loin de la lisière est du bassin houiller.

Usines d'Ebbwvale, Victoria et Sirhowy.

Le premier groupe sert uniquement à la fabrication des rails et comprend les deux usines très-voisines de *Victoria* et d'*Ebbwvale*, dans le haut de la vallée d'Ebbwvale, et celle de *Sirhowy*, à 2 milles à l'ouest dans un vallon parallèle. Les mines de houille et de fer qui alimentent ces usines, occupent tout le territoire environnant sur une étendue de 5.100 acres.

Les trois établissements renferment chacun quatre

hauts fourneaux, dont trois en activité, et quelques feux de finerie.

A Victoria et à Ebbwvale il y a, de plus, une centaine de fours de puddlage, et dans la dernière de ces deux forges, deux trains complets de laminoirs à rails. C'est là, par suite, que s'achève l'affinage des 80.000 tonnes de fonte, provenant des neufs hauts fourneaux, et leur transformation en 60.000 tonnes de rails.

Les trois établissements ont été construits par des propriétaires différents, et furent achetés par la compagnie actuelle à des prix relativement bas. L'nsine d'Ebbwvale, la plus ancienne des trois, date de l'origine du siècle, tandis que Victoria ne fut bâtie que vers 1838.

Contrairement à la marche ordinaire des choses, Ebbwvale paraît avoir enrichi son fondateur et ruiné ses successeurs immédiats. Sirhowy et Victoria n'ont prospéré qu'entre les mains de la compagnie actuelle, grâce à la faiblesse relative du capital d'acquisition.

Usines d'Abersychan, Cwmbrain et Pentwyn.

Le groupe de Pontypool se compose de la grande forge d'*Abersychan* et des deux établissements peu importants de *Cwmbrain* et *Pentwyn*. On peut y joindre l'usine de Pontypool même qui, gérée à part, appartient néanmoins, presque exclusivement, aux mêmes personnes.

Abersychan comprend six hauts fourneaux, dont cinq généralement en feu, et une forge à rails de trente-six à quarante fours de puddlage. On y fabrique annuellement 35 à 40.000 tonnes de fonte, donnant 20 à 25.000 tonnes de rails, de qualité supérieure, plus quelques fers d'un calibre élevé. L'usine fut établie en 1826, par la Bristish Iron Comp. qui y perdit la somme énorme de 400.000 liv. En 1852, elle fut achetée, par la Compagnie d'Ebbwvale, pour le faible

déboursé de 8.500 liv. qui fut même plus que couvert par le stock des produits fabriqués.

L'usine voisine de Pentwyn ne fut guère plus heureuse. Établie vers 1825, elle fut constamment une source de pertes pour ses propriétaires successifs. Composée de trois hauts fourneaux et d'une forge, ces deux parties furent vendues séparément: les hauts fourneaux, en 1853, passèrent aux mains de la compagnie d'Ebbwvale qui ne les mit jamais en feu, mais exploita depuis lors les mines qui en dépendaient au profit d'Abersychan; quant à la forge, elle fut acquise par la famille Crawshay-Bailey qui, faute de bénéfices, vient de l'abandonner.

La troisième usine, en aval de Pontypool, est *Cwmbrain*: petite forge, construite vers 1840, spécialement destinée à livrer des fers marchands.

La compagnie d'Ebbwvale nous fournit ainsi un exemple de cette spécialisation de la fabrication qui procure aux mines anglaises de si grands avantages, Sirhowy n'a que des hauts fourneaux; Victoria des hauts fourneaux et des fours de puddlage; Ebbwvale, des hauts fourneaux, des fours de puddlage et des laminoirs pour rails. Ces trois usines livrent des produits de qualité ordinaire. Abersychan est une usine complète qui fabrique des rails supérieurs et de gros fers de construction; Cwmbrain des fers marchands ordinaires; enfin Pontypool, dont il nous reste à parler, des fers supérieurs tout à fait spéciaux.

Usines de Pontypool.

L'usine de Pontypool date du temps de la Reine Élisabeth. On y fabriquait avec grand profit, jusque vers 1800, de la fonte au bois, du fer blanc et du fil de fer. Vers cette époque, on établit, à la place de l'unique haut fourneau au bois, quatre hauts fourneaux au coke, sur le plateau de *Blaendare*, qui domine la

ville. On persévéra néanmoins dans la fabrication des fers spéciaux. Au lieu de rails et de fers communs, on y produit encore exclusivement des fontes grises que l'on transforme en tôles, fers fins et fers blancs. Des quatre hauts fourneaux, trois vont à l'air froid et sans scories; tous exclusivement au coke.

La production annuelle de Pontypool est de 16.000 tonnes de fonte et d'environ 10.000 tonnes de fer. La forge proprement dite, où s'affine la fonte, est divisée en trois usines, étagées sur la rivière qui passe à Pontypool. La forge d'affinage et de grosse tôle en aval de la ville, celle pour le corroyage des fers fins en amont, la fabrique de fer blanc au centre, auprès de la ville même.

Blaenavon.

En amont de Pontypool, vers l'origine de la vallée et dans l'angle nord-est du bassin houiller, se trouve l'usine de *Blaenavon*, également exploitée pour fers de qualité supérieure.

Bâtie vers 1780, elle a passé, depuis 1837, par diverses mains et n'a guère prospéré avant ces derniers temps. En ce moment elle comprend cinq hauts fourneaux, tous à l'air froid et au coke; et lors de notre visite on s'occupait de l'agrandissement de la forge qui doit renfermer actuellement quarante fours de puddlage et un laminoir pour bandages du système Petin et Gaudet. Un seul haut fourneau reçoit des scories et marche en fonte blanche; ce dernier fournit annuellement près de 8.000 tonnes; tandis que les quatre autres ne produisent réunis que 18 à 20.000 tonnes de fonte grise.

Usines de la compagnie de Blaena.

Entre Blaenavon et la vallée d'Ebbwvale existe, dans un vallon parallèle, le groupe des forges réunies de *Blaena*, *Cwm-Celyn* et *Coalbrookvale*. Plusieurs maîtres de forges s'y sont ruinés successivement; aujourd'hui

elles sont exploitées par F. Levick et compagnie et l'entreprise se soutient, grâce au taux peu élevé du prix d'acquisition. On y fabrique spécialement des rails; pourtant, sur les six hauts fourneaux, l'un d'eux marche à l'air froid et deux ou trois autres exclusivement au coke afin de produire de bonnes fontes que l'on affine pour fers marchands, fers à T et fers d'angle.

Le produit annuel de ces usines est d'environ :

40.000 tonnes de fonte, donnant
20.000 tonnes de rails
et 6 à 8.000 tonnes de fers en barres.

Beaufort et Nantyglo.

A l'origine des vallées de Blaena et d'Ebbwvale on rencontre les usines de *Nantyglo* et *Beaufort* qui firent la fortune colossale de sir Joseph Bailey. Placées sur les affleurements mêmes de la houille et des minerais, elles eurent les matières premières à des prix exceptionnellement bas. Aujourd'hui les circonstances sont changées. Les affleurements sont épuisés et les mines s'éloignent des forges. Aussi Nantyglo, formée de sept hauts fourneaux, est en chômage, et Beaufort, qui comprend, outre huit hauts fourneaux, dont sept en feu, une grande forge, est aujourd'hui entièrement délabrée et semble sur le point d'être abandonnée également. Les fontes de Beaufort ont joui, fort longtemps, d'un renom de ténacité très-justement mérité. Elles ressemblaient alors à celles de Pontypool et de Blaenavon, et s'obtenaient de la même manière à l'air froid, au coke, et sans scories. Aujourd'hui tout est changé : les sept hauts fourneaux vont à l'air chaud ; cinq en fonte blanche avec addition de scories; deux en fonte de moulage provenant uniquement de minerais houillers ; mais ces fontes, produites à l'air chaud, sont noires plutôt que grises, et par cela même moins tenaces et moins pures que celles de Pontypool et Blaenavon.

La production des sept hauts fourneaux est d'environ 40.000 tonnes. Dans la forge on fabrique des rails et du fer en barres.

Tredegare.

A l'ouest d'Ebbwvale, à quelques cents mètres de Sirhowy et sur le flanc opposé de la même vallée, on rencontre l'usine de *Tredegare*, la plus importante, parmi les forges à rails du Monmouthshire, après Ebbvwale, et l'une de celles dont les conditions économiques sont le plus favorables. L'établissement date de l'année 1824. La forge, reconstruite en 1833, est remarquable par l'arrangement symétrique de ses diverses parties : l'atelier de puddlage se compose d'une grande halle où sont installés, sur une même ligne, quatre presses et quatre trains de laminoirs-ébaucheurs. De ce bâtiment principal partent perpendiculairement quatre halles moins élevées, respectivement en face des quatre presses; elles renferment chacune vingt fours de puddlage, en deux rangées parallèles de dix. L'usine entière comprend donc quatre-vingts fours de puddlage, et tout à côté s'élèvent neuf grands hauts fourneaux. Lors de notre visite, six hauts fourneaux marchaient à l'air chaud, produisant de la fonte blanche ordinaire pour rails; un septième, à l'air froid, donnait de la fonte grise. Tous sont pourvus d'obturateurs coniques pour la prise des gaz et la distribution régulière de la charge.

La production de l'usine est de 60 à 65.000 tonnes de fonte et d'environ 40.000 tonnes de rails.

Golynos et Warteg.

Nous citons, pour mémoire, deux forges peu importantes, *Golynos* et *Warteg*, situées entre Abersychan et Blaenavon. Elles n'ont guère profité aux propriétaires, ou fermiers successifs qui les faisaient valoir; aussi l'une d'elles (*Golynos*) va être abandonnée par ce motif.

Clydach.

Enfin citons encore, comme dernière usine du district oriental, celle de *Clydach*, dans le Brecknockshire. Elle est voisine de Beaufort, dans la vallée d'Abergavenny, et, quant aux matières premières, dans des conditions assez semblables. Malgré cela, elle ne prospéra pas comme sa voisine. Établie vers 1780, elle comprend aujourd'hui quatre hauts fourneaux, dont trois en feu, et une forge pour rails et fers.

2e District central nord. Rymney et Bute.

Si maintenant nous nous dirigeons vers l'ouest, nous rencontrerons, à 3 milles de Tredegare, *Rymney* sur la lisière du Monmouthshire, et, un peu plus loin, la forge de *Bute* dans le Glamorganshire. L'une et l'autre appartiennent à la Rymney-Iron Comp. La consistance et les conditions de ces deux établissements se rapprochent beaucoup de celles de Tredegare. On y trouve, en effet, neuf hauts fourneaux et environ quatre-vingts fours de puddlage. On y fabrique de même presque exclusivement des rails.

Usines des environs de Merthyr.

Dans le Glamorganshire, les principales forges sont groupées autour de la petite ville de Merthyr-Tydvil, qui est également placée, comme les usines du Monmouthshire sur le relèvement nord des schistes inférieurs. Ce sont : *Dowlais* et *Peny-darren* au nord, *Cyfarthfa* et *Ynisfach* à l'ouest, *Plymouth-works* au sud-est. Un canal et un chemin de fer les relient au port de Cardiff distant de 20 à 25 milles.

Dowlais.

Dowlais, le plus vaste de ces établissements, fut fondé en 1790. On n'y éleva d'abord que deux hauts fourneaux et une petite forge. Les premières années furent difficiles. Mais sous l'habile et énergique direction de feu sir John Guest, propriétaire unique de l'établissement, la forge se développa graduellement (p. 517) et donna finalement, dans la période de construction des rails-ways

anglais, des bénéfices énormes. Sans doute la cause de ce brillant succès doit être cherché avant tout, comme à Beaufort et Nantyglo, dans l'abondance exceptionnelle des matières premières mais, après cela, certainement aussi, dans la parfaite unité de direction et le développement mesuré de l'entreprise, qui se poursuit sans relâche d'année en année, de 1790 jusqu'en 1845, lorsque d'autres établissements, dans des conditions en apparence identiques, n'ont pu se soutenir parce que, de prime abord et comme d'un seul jet, ils avaient été montés sur une trop vaste échelle. En industrie, comme dans la nature, on ne saurait impunément méconnaître l'universelle loi de la croissance graduelle.

Dowlais renferme maintenant et même dès 1845 :

18 hauts fourneaux ;
8 fineries ;
145 fours de puddlage,
Et 87 fours de réchauffage.

C'est dans cet établissement que se trouve la machine soufflante monstre, dont nous avons parlé (p. 149), et le plus vaste haut fourneau d'Angleterre (p. 157, 174, et Pl. VI, *fig.* 10). On vient aussi d'y installer, dans une nouvelle forge, de puissants laminoirs pour les plus gros fers de construction. Nous en dirons quelques mots dans la troisième partie de ce travail.

Les amodiations houillères de l'usine de Dowlais mesurent 2.500 hectares, et le nombre de ses ouvriers est de 8 à 9.000.

Seize hauts fourneaux sont généralement en feu et par semaine on fabrique en moyenne :

13 à 1.500 tonnes de rails
et 4 à 600 tonnes de fers de diverses sortes.

Par année, c'est environ :

135.000 tonnes de fonte
et 90 à 100.000 tonnes de rails et fers.

On a vu, par les exemples cités (p. 170), combien sont variables les charges des hauts fourneaux de Dowlais. Si l'un d'eux ne reçoit que des minerais houillers et produit de la fonte grise de moulage, presque tous les autres marchent, avec addition de scories, en fonte blanche plus ou moins grenue, et parfois l'un ou l'autre, pendant quelque temps, presque uniquement en scories de forge. Tous les hauts fourneaux sont soufflés à l'air chaud; la plupart reçoivent de la houille crue; quelques-uns seulement sont pourvus de prises de gaz.

Pen-y-darren.

La forge de *Pen-y-darren*, située au-dessous de Dowlais, à la porte même de Merthyr-Tidvil, fut également établie vers la fin du siècle dernier, mais ne donna jamais des résultats comparables à ceux de sa voisine. Dans ces dernières années, elle dut même produire à perte, car nous l'avons trouvée en complet chômage. Elle a même récemment cédé toutes ses mines à la forge de Dowlais. On ne paraît donc pas vouloir la reprendre jamais. Elle se compose de sept hauts fourneaux et d'une forge à rails d'une consistance proportionnée.

Ynisfach et Cyfarthfa.

Dans le faubourg opposé de Mertyr-Tidvil se trouve l'usine d'*Ynisfach*, formée de quatre hauts fourneaux, et en amont, dans la vallée principale, celle de *Cyfarthfa*, comprenant sept hauts fourneaux et une grande forge de quatre-vingts fours de puddlage, possédant comme moteurs deux roues hydrauliques de 36 pieds de diamètre et de 8 à 9 pieds de largeur. Le canal qui relie Merthyr à Cardiff prend naissance dans cette usine même et appartient en majeure partie à la famille Crawshay, les riches propriétaires des deux forges en

question. Comme sir J. Guest à Dowlais, feu W. Crawshay, le père des propriétaires actuels, réalisa par ses forges une fortune énorme.

Les usines de Cyfarthfa et d'Ynisfach sont fort bien tenues, et leur parfait état d'entretien contraste avec l'apparence de délabrement et de désordre de plusieurs usines galloises. On y soigne d'ailleurs aussi la fabrication. Les rails sont de qualité supérieure et les fers généralement estimés. A cet effet, tous les fauts fourneaux marchent au coke, fabriqué en plein air avec de la grosse houille, et plusieurs sont soufflés à l'air froid.

La castine est chargée à l'état de chaux vive. On retraite cependant les scories de forge, mais on évite la production de la fonte blanche grenue. Le produit ordinaire est blanc lamelleux ou truité, parfois gris, et, de plus, on maze presque toute la fonte. Par ces motifs les prix de revient y dépassent ceux des autres usines; mais aussi, grâce à la nature des fontes, on peut obtenir, à Cyfarthfa, les rails en une seule chaude, sans ballage, et l'on y fabrique une proportion notable de fers en barres d'assez bonne qualité.

La production annuelle de Cyfarthfa et d'Ynisfach est d'environ 60.000 tonnes de fonte et de 40.000 tonnes de rails et fers.

Plymouth-Works.

L'usine, dite *Plymouth-Works*, est située à 2 milles en aval de Cyfarthfa, sur le bord du canal de Cardiff. Elle se compose de cinq hauts fourneaux et d'une forge très-bien placée. Comme à Cyfarthfa, on cherche à soigner les produits et, grâce aux prix plus élevés que l'on en obtient, la situation de l'entreprise paraît prospère.

La production de la fonte peut s'élever à 30.000 t. et celle des rails et fers à 20 ou 21.000 tonnes.

Usine de la compagnie d'Aberdare.

A l'ouest de Merthyr-Tidfil, le Glamorganshire comprend encore une usine à rails fort importante, appartenant à l'Aberdare Iron C°, Elle se compose de deux établissements contigus, *Aberdare* et *Llaydard*, et de la forge à rails de *Taffvale*, près de Newbridge. Ces usines renferment sept hauts fourneaux, dont six en feu et soixante-dix-huit fours de puddlage. Comme à Dowlais, on s'attache à produire beaucoup, mais de qualité ordinaire; et, comme à Ebbwvale, on veud aussi de la houille que l'on expédie par Cardiff.

Le nombre des ouvriers y est de trois mille cinq cents et le produit annuel de :

50 à 55.000 tonnes de fonte.

Donnant 35 à 40.000 tonnes de rails.

Hirwain.

Dans la partie nord du bassin houiller nous avons enfin à mentionner encore l'usine de *Hirwain*, dans le Brecknockeshire, aujourd'hui abandonnée, et les deux

Gadlys et Aberrammon.

usines de *Gadlys* et d'*Aberrammon*, formées, la première, de quatre, et la seconde, de trois hauts fourneaux auxquels viennent se joindre, dans l'une et l'autre, un nombre proportionné de fours de puddlage et de réchauffage.

Gadlys produit d'ailleurs, spécialement, des fontes grises à l'air froid, de qualité supérieure, comme le montre le tableau de prix de vente des fontes du pays de Galles (p. 566).

3° District central sud.

Outre les établissements dont nous venons de parler, on avait, à diverses époques, élevé des hauts fourneaux et forges dans la partie méridionale du bassin houiller; mais ces usines n'acquirent jamais une bien grande importance. Elles étaient mal placées sous le rapport des matières premières. Plusieurs sont abandonnées ou chôment depuis longtemps, et presque toutes ont ruiné leurs fondateurs.

Il faut en excepter *Pentyrch* dans la Taff-Vallée, dont les deux hauts fourneaux fournissent de bonnes fontes grises aux fabriques de fers-blancs des environs.

4° District occidental ou anthraciteux.

Si nous passons maintenant au district des charbons anthraciteux, nous trouverons d'abord, dans la vallée de la Neath, l'usine de *Venalt* en ruines, et celle d'*Abernant* avec un seul haut fourneau en feu sur trois; puis, entre la Neath et la vallée de Swansea, les deux usines, peu importantes et souvent en chômage, de *Banwen* et *Onllwyn*; enfin, dans la vallée même de Swansea, les seuls établissements un peu considérables et prospères de ce district, *Yniscedwin*, *Abercrave* et *Ystalyfera*.

Yniscedwin.

Yniscedwin est la plus ancienne usine du pays; ses hauts fourneaux ont marché successivement au bois et au coke, et depuis vingt ans seulement à l'anthracite. Elle comprend six hauts fourneaux, dont cinq généralement en feu, mais pas de forge. On vend toute la fonte, savoir : 15.000 tonnes aux fabriques de fer-blanc et 2.500 comme fonte de moulage.

Abercrave.

Abercrave, bâtie en 1826, ne renferme qu'un seul haut fourneau dans des conditions peu différentes de celles d'Yniscedwin.

Ystalyfera.

Enfin *Ystalyfera*, le seul établissement complet de ce district, se compose de onze fourneaux, dont sept ou huit en feu, d'une vaste forge et d'une fabrique de fer-blanc. Sa production annuelle est de 25.000 tonnes de fonte, partie grise, partie blanche, que l'on affine presque complétement dans l'usine même.

On a vu précédemment que la fonte blanche s'obtient avec une addition de scories et se transforme principalement en rails, tandis que la fonte grise est affinée au bas foyer pour tôle fine et fer-blanc, en se servant, selon les qualités à produire, exclusivement de charbon

de bois, ou d'un mélange de coke et de charbon de bois.

L'usine d'Ystalyfera se distingue entre toutes, dans le pays de Galles, par l'emploi complet des gaz et des chaleurs perdues.

A l'ouest de la vallée de Swansea, dans le Caermarthenshire, on trouve encore trois ou quatre usines, mais toutes peu importantes, car un seul haut fourneau y est en feu.

En résumé, sur trente-quatre hauts fourneaux, quatorze ou quinze seulement marchent, depuis 1858, dans le district anthraciteux. En général presque toutes ces usines sont dans des conditions peu favorables de matières premières et de voies de communication.

Usines de la forêt de Dean.

Pour terminer, rappelons que dans la forêt de Dean, à l'est du South-Wales, les conditions ne paraissent guère plus favorables, puisque, sur cinq usines, deux seulement et, sur dix hauts fourneaux, quatre étaient en activité en 1858.

Le seul établissement prospère est celui de Cinderford, dont les trois hauts fourneaux en feu donnent, comme Yniscedwin, de la fonte grise à l'air chaud pour fers-blancs.

III. DISTRICT DU CENTRE.

FABRICATION DE LA FONTE POUR FER EN BARRES.

CHAPITRE XIII.

GÉNÉRALITÉS. — IMPORTANCE DU DISTRICT.

Dans les chapitres qui précèdent, on a vu l'Écosse produire des fontes *noires* de moulage; le pays de Galles, des fontes *blanches* pour rails. Nous allons voir le Centre fabriquer spécialement des fontes *grises* pour fers marchands et tôles.

Dans les deux premiers districts, un nombre relativement restreint d'usines fort importantes préparent leurs produits, fontes ou rails, en grandes masses toujours identiques.

Dans le district du Centre, des établissements moins étendus, mais infiniment plus nombreux, livrent au commerce les produits les plus variés, depuis la fonte brute jusqu'aux tôles minces et jusqu'aux fils les plus fins. Ces usines du Centre sont d'ailleurs dispersées sur une surface très-grande; car si la plupart sont surtout concentrées dans un espace fort restreint autour de la ville de Dudley comme centre, on en rencontre néanmoins presque sur tous les points du vaste bassin houiller qui enveloppe de tous côtés la grande dorsale anglaise, et plus spécialement dans les cinq comtés de Stafford, Worcester, Derby, Salope (Shropshire) et York (West-Riding).

L'extrême concentration des forges à fer autour de

Dudley, dans le Sud-Staffordshire, est au reste fort récente; elle date de trente à quarante ans à peine.

Ainsi, en 1806, le nombre des hauts fourneaux était, dans le Staffordshire et le Worcestershire réunis, de 42 seulement.

Tandis que le Shropshire seul en contenait à cette époque	42
Le Derbyshire	17
Et l'Yorkshire (West-Riding)	28
Total	87

Vingt ans plus tard, en 1826, le nombre des hauts fourneaux s'élève déjà à 108 dans les deux premiers comtés, tandis qu'il n'a monté que de 87 à 89 dans les trois autres; et maintenant, ou plutôt en 1857, d'après le tableau de la page 178, on trouve :

	hauts-fourneaux.
Aux environs de Dudley, dans le Sud Staffordshire, y compris quelques enclaves du Worcesterhire	180
Dans le Nord Staffordshire	27
	207
Le Shropshire	31
Le Derbyshire	34
Et l'Yorkshire (West-Riding)	36
	101

Depuis cinquante ans, le nombre des hauts fourneaux, ou en général celui des usines à fer, n'a donc pas varié sensiblement dans le Shropshire et le West-Riding, tandis qu'il a doublé dans le comté de Derby, et plus que quintuplé dans le Sud-Staffordshire.

L'importance sidérurgique actuelle des environs de Dudley ressort d'ailleurs aussi des chiffres suivants :

En 1857, M. R. Hunt y signale, sur une étendue d'au plus 50 milles quarrés, outre les 180 hauts fourneaux déjà mentionnés, au delà de 400 mines de houille

et de fer et 109 forges, contenant 2.037 fours de puddlage.

Les détails que nous avons à donner sur la fabrication de la fonte grise de forge concernent donc plus spécialement le *Sud-Staffordshire*; et, en effet, c'est de lui surtout que nous allons nous occuper :

Néanmoins les usines du Shropshire, du Nord-Staffordshire et du Derbyshire sont dans des conditions à peu près identiques, si ce n'est que leurs produits sont en général un peu plus estimés, grâces aux soins que l'on apporte à leur fabrication.

Quant au *West-Riding*, comprenant surtout les forges de Lowmoor et de Bowling, aux environs de Bradford, on sait qu'on y prépare spécialement des fontes et des fers tout à fait supérieurs.

Division du district central en deux sous-districts.

Par ces motifs, nous ne nous occuperons ici que du sous-district méridional de *Dudley* ou du *Sud-Staffordshire;*

Et du sous-district septentrional de *Lowmoor* et *Bowling*, dans le *West-Riding*.

Quant aux établissements du Derbyshire, du Shropshire et du Nord-Staffordshire, nous pouvons nous dispenser d'en parler, puis que, par leur situation comme par leurs produits, ils sont placés entre les deux sous-districts que nous venons de nommer et que la production de leurs hauts-fourneaux figure dans le tableau général de la page 178.

Bassin houiller central.

Mais avant de passer à la description spéciale de ces deux sous-districts, disons quelques mots du bassin houiller central, sur lequel sont non-seulement établies les nombreuses forges, dont nous venons de parler, mais encore les principales industries manufacturières du Royaume-Uni : la quincaillerie, à Birmingham; les aciéries, à Sheffield; les ateliers de construction, à

Leeds; les filatures et machines, à Manchester et Oldham; les lainages, à Bradford et Halifax; les soieries et les tissages, à Coventry, Nottingham, etc.

Au centre de l'Angleterre, vers l'extrémité sud de la chaîne Pénine, se dresse le massif calcaire du Derbyshire. Autour s'étend de tous côtés le *millstone-grit*; puis, au delà, le terrain houiller proprement dit. Ce dernier se divise naturellement en deux branches, Est et Ouest, d'après les deux versants de la chaîne Pénine (voyez la Carte d'Angleterre, Pl. V, tome 19).

Branche Est du bassin central.

La branche *orientale* va de Derby jusqu'à Leeds, augmente de largeur du sud au nord, puis se termine au delà de Bradford, à une grande faille est-ouest, qui relève fortement les étages inférieurs. C'est le long de cette bande que sont établies les usines à fer du Derbyshire (Alfreton, Butterley-Park, Codnor, etc.), les aciéries de Sheffield, les ateliers de Leeds et les forges de Lowmoor et Bowling.

Branche Ouest du bassin central.

La branche occidentale s'élargit aussi du sud au nord, se poursuit, comme la première, parallèlement à la chaîne Pénine, sur une longueur de 66 à 65 milles; puis se termine, auprès de Burnley, à la grande faille de Bradford et Halifax. C'est le long de cette zone que l'on trouve les usines du Nord-Straffordshire et les établissements industriels si nombreux de Manchester, Oldham et S^{t} Helens.

Puissance et étendue du bassin central.

La puissance du terrain houiller central est estimée, en moyenne, à 4 ou 5.000 pieds, avec 50 à 60 pieds de charbon exploitable, dans les parties les plus riches.

Son étendue, déjà mentionnée dans la première partie d'après MM. Taylor et Hunt, est de :

	1.010 acres à l'Est de la chaîne Pénine
Et de	600 acres à l'Ouest.
Soit un total de	1.610 acres.

Mais ce n'est pas là sa superficie entière, car il s'enfonce, à l'est comme à l'ouest, sous les dépôts plus modernes du Permien et du Trias, sans qu'il soit possible de fixer une limite positive à son extension souterraine, si ce n'est du côté ouest, où sur la lisière du *North-Wales* on voit ressortir les assises houillères de dessous le nouveau grès rouge, et former là une série de lambeaux, en apparence isolés, sur lesquels sont établies les usines du Shropshire et de la partie nord du pays de Galles.

Ainsi, par son étendue, le bassin houiller central est de beaucoup le plus important du Royaume-Uni, et il en est de même sous le rapport de sa production qui s'élève presque à la moitié de l'extraction totale du Royaume-Uni, qui fut de 65 millions, comme on sait, en 1858.

Production du bassin central.

Cette même année :

	tonnes.
La branche Est a fourni en effet.	12.262.900
La branche Ouest.	10.470.450
Et le Sud Staffordshire.	6.811.640
Production totale du bassin central. . .	29.544.990

Et presque tout ce combustible a été consommé en Angleterre même, car l'exportation proprement dite du bassin Central n'atteint pas le chiffre de 750.000 t.

Extrémité sud du bassin central.

Vers l'extrémité sud de la chaîne Pénine, les deux branches Est et Ouest du bassin central s'enfoncent également sous le Trias, mais pour se rejoindre en profondeur et reparaître à la surface du sol, autour des pitons siluriens de Dudley, non loin de Birmingham. C'est la partie sud du bassin central, le district proprement dit du Sud Staffordshire. Dans cette région le système carbonifère est beaucoup moins puissant qu'aux environs de Manchester ou de Sheffield. Le calcaire carbonifère et le milstone-grit ont disparu en-

tièrement; en sorte que le terrain houiller proprement dit, réduit lui-même à mille pieds d'épaisseur, repose directement sur le calcaire silurien supérieur. Les formations intermédiaires ne reparaissent, sous les *coal measures*, que vers la lisière est du pays de Galles, où le vieux grès rouge, puis le calcaire carbonifère se développent graduellement à mesure que l'on se rapproche de la baie de Bristol.

Les houilles du district central sont presque toutes plus ou moins sèches et à longue flamme. Dans le Yorkshire seul, auprès de Sheffield, les charbons deviennent réellement collants.

CHAPITRE XIV.

SOUS-DISTRICT DU STAFFORDSHIRE.

Le sous-district du Sud Staffordshire est de toutes les fractions du terrain houiller anglais et même des dépôts carbonifères du monde entier, le lambeau qui renferme, eu égard à son étendue, le plus grand nombre de mines et d'usines. C'est la *Black country* (terre noire) par excellence. Sa longueur maximum, du Sud au Nord, est de 26 milles et sa plus grande largeur de 9 milles; mais en moyenne on ne peut compter au-delà de 18 à 20 milles (30 kilom.), dans le sens de la longueur, et au delà de 5 milles (8 kilom.) en largeur. Aussi sa superficie ne dépasse pas 90 à 100 milles quarrés (24000 hectares); et même la partie, réellement couverte de travaux, mesure au plus 50 milles quarrés. C'est à peu près l'équivalent du bassin de la Loire.

Au centre du territoire est la ville de Dudley, qui compte 50.000 âmes; dans le reste du district, six autres villes également importantes. Wolverhampton, Bilston, Stourbridge, etc.; outre cela seize très-grands

villages, que l'on nommerait ailleurs également des villes, et entre lesquels s'élèvent les 109 forges, les 180 hauts fourneaux et les 400 ateliers de mines ci-dessus mentionnés.

Le Sud Staffordshire est une contrée légèrement ondulée, dont l'altitude moyenne est de 4 à 500 pieds et celle de ses collines les plus hautes à peine de 7 à 900 pieds. Malgré cette faible élévation le district de Dudley est traversé, dans le sens de sa longueur, par la grande dorsale anglaise qui descend ici, des hauteurs de la chaîne Pénine vers les plaines du comté de Worcester. Cette situation exclut de la contrée tout cours d'eau de quelque importance et spécialement toute rivière navigable. On n'y trouve que les sources de la *Stour* qui coule par la Severn dans le golfe de Bristol, et celles de la *Rea* qui passe à Birmingham et se rend de là dans la mer du Nord; mais ce que la nature a refusé au pays, la main de l'homme l'a accompli.

Deux lignes de canaux traversent le district et vont atteindre, par leurs nombreuses ramifications, la plupart de ses mines et de ses forges: le *Birmingham canal* à l'est, et le *Stourbridge canal* à l'ouest. En outre, plusieurs chemins de fer sillonnent le pays et le mettent, comme les canaux, en communication directe, soit avec Liverpool et les ports de la baie de Bristol, soit avec Londres et les ports de la mer du Nord. Néanmoins, à cause de la situation centrale du district, les frais de transport, jusqu'aux ports de mer les plus voisins, sont au moins quadruples de ceux qui pèsent sur les produits des forges galloises et écossaises; différence qui explique en partie le caractère spécial de l'industrie des fers du Staffordshire.

§ 1. *Bassin houiller.*

Étages du bassin houiller.

Le terrain houiller du Sud Staffordshire se compose, d'après le Geological Survey, dans ses parties les plus complètes, de trois groupes :

1° Vers le haut, les grès de Halesoven de 2 à 300 pieds de puissance ;

2° Au-dessous les *Red coal-measures clay* de 300 pieds;

3° A la base, le groupe houiller proprement dit, de 5 à 600 pieds, qui seul renferme des couches exploitables.

Les grès du haut sont de couleurs variées, et passent parfois à un véritable poudingue. On les rencontre surtout au sud de Dudley et spécialement autour de la petite ville de Halesoven.

Les *Red coal-measures clay* sont des argiles schisteuses, rougeâtres, passant au bleu ou au vert, que l'on exploite sur divers points, en vue de la fabrication des briques communes.

Ces deux étages supérieurs ne renferment aucune couche de charbon de quelque importance. La houille se montre exclusivement dans le groupe de la base qui se compose surtout d'argiles schisteuses grises ou noires. Les grès y sont rares et à grains très-fins, ou bien, lorsqu'ils apparaissent sur certains points, on les voit bientôt s'évanouir à de faibles distances.

Nombre et puissance des couches.

Dans la partie méridionale et centrale du bassin les couches exploitables sont au nombre de 7 ou 8. Les six principales, en allant de haut en bas, ont les épaisseurs suivantes :

	Pieds.	
Le Brooch coal.	4	
Le thick coal ou ten yards coal	30	
Le heathen coal	3 à 4	y compris les nerfs.
Le new mine coal.	8	
Le fire clay coal.	7	
Le bottom coal.	12	
Épaisseur totale..	65	

Ou environ 55 à 60 pieds de charbon proprement dit,

Manière d'être de la grande couche.

Le bassin du Sud Staffordshire diffère des autres bassins anglais par la puissance exceptionnelle de sa grande couche (le *thick coal*) et les variations notables qu'elle subit. Sous ce rapport il ressemble plutôt aux dépôts houillers de notre plateau central. La grande couche se maintient sans changements notables autour de Dudley, quoique là déjà sa puissance varie entre 20 et 36 pieds ; mais vers l'Ouest et vers le Nord elle se divise en plusieurs branches par le renflement graduel de ses nombreux nerfs (*partings*).

Au delà de Bilston et de Wolverhampton ses divers bancs forment jusqu'à 12 ou 14 couches tout à fait distinctes, occupant, avec l'ensemble des intercalations stériles, une hauteur totale de 300 pieds. Ainsi, tandis que l'on compte 7 ou 8 couches dans la partie sud du bassin, leur nombre atteint 21 vers le nord, mais sans que pour cela leur puissance utile ait augmenté sensiblement, si ce n'est quelque peu entre Bilston et Wolverhampton, où l'épaisseur totale du charbon exploitable atteint 70 pieds.

Au point de vue de la direction et de l'inclinaison des veines le bassin du Sud-Staffordshire présente également des changements fréquents. Au sud de Dudley, auprès de Halesoven, on observe bien une plongée générale vers le sud ; mais, au nord, les couches se relèvent de toutes parts vers les pitons siluriens et vien-

nent affleurer successivement en courbes très-sinueuses. C'est là surtout que se trouvent accumulés les anciens travaux, et que la surface est bouleversée, par les effondrements du sol, au delà de tout ce que l'on peut imaginer.

Rapprochement des couches de houille au centre du bassin.

Dans cette région les six couches principales sont rapprochées au point de ne pas occuper en profondeur totale au delà de 300 à 350 pieds, en sorte que le sixième de l'épaisseur entière se compose de charbon exploitable, auquel, pour avoir le vide complet occasionné par l'extraction, il faut encore ajouter les veines de minerai, dont la puissance totale, y compris les nerfs stériles abattus, varie de 12 à 18 pieds.

Perte due aux vices de l'exploitation.

Cette extrême richesse, accumulée sur une hauteur aussi faible et dans un espace aussi restreint, a été, par cela même, singulièrement gaspillée. En moyenne, on n'a pas extrait au delà de la moitié du charbon existant, et aujourd'hui encore on perd la majeure partie du menu. Ainsi, dans une exploitation relativement bien conduite, de la grande couche de Bilston, qui renfermait par acre de terrain (40 ares), 40 à 45.000 ton. de houille, les travaux les plus récents n'ont en réalité fourni :

	tonnes.
En grosse houille que.	20.974
En moyenne houille (*lumps*). . . .	4.227
En menu (*slack*)	6.292
Total.	31.493

Soit 7t,5 par mètre quarré.

Et même ce résultat doit être considéré comme fort avantageux, car, en général, le produit de la grande couche, calculé d'après la moyenne de plusieurs centaines d'acres, est notablement plus faible. La méthode d'exploitation par remblais complets est inconnue en Angleterre.

Réserve disponible.

La réserve en houille, encore disponible dans le bassin du Staffordshire, est impossible à fixer. La surface est tellement couverte de constructions diverses et le sous-sol criblé de si nombreux travaux anciens mal aménagés, qu'on ne saurait calculer ce qui reste à prendre. Comparé aux autres bassins anglais, on pourrait presque le dire épuisé. Néanmoins la masse déjà exploitée ne saurait dépasser 150 à 200 millions de tonnes (1).

Or, en admettant seulement une puissance utile de 10 mètres sur 10,000 hectares (les 0,40 du bassin entier et la moitié de la puissance réelle), on arrive à un total de mille millions de tonnes. Resteraient donc encore 800 millions à exploiter. Et si ce chiffre peut encore paraître exagéré, lorsqu'on considère les constructions innombrables qui couvrent le sol, il ne faut pas oublier, d'autre part, qu'il ne s'agit ici que de la portion du bassin non recouvert par les terrains plus modernes.

Le terrain houiller du Sud Staffordshire est, en effet, partout bordé de failles qui font descendre les assises houillères au-dessous des formations Permiennes et Triasiques. Son étendue réelle dépasse donc de beaucoup sa superficie apparente, et quoique d'après le professeur Ramsay, le terrain Permien de cette contrée ait en moyenne une puissance de 1500 pieds et le Trias près de 2000 pieds, il n'en est pas moins vrai que sur bien des points les couches de houille pourront encore être exploitées au-dessous de ces formations secondaires, comme dans nos bassins de la Moselle, de Ronchamp, de Saône-et-Loire, etc.

Ainsi donc le bassin du Sud Staffordshire, quoique déjà fortement entamé, et fournissant à une consomma-

(1) Vers 1830, on exploitait annuellement 1.200.000 à 1.500.000 tonnes, et aujourd'hui, en moyenne, 5 millions.

tion locale énorme, est encore en mesure d'approvisionner ses nombreuses usines pendant un siècle au moins.

Prix de revient de la houille.

Mais le prix de revient de la houille y est plus élevé que sur les autres points du Royaume-Uni. Pour une surface donnée, le nombre des amodiataires y est beaucoup plus grand ; par ce motif, la *Royalty* plus considérable et les faux frais accessoires plus importants.

Il y a trente ans, les auteurs des Voyages métallurgiques ont constaté, comme prix moyen de la houille, en gros morceaux, rendue aux usines, 6 sh. la tonne de 2400 liv. Aujourd'hui le prix est de 7 sh. 6 d. Ainsi, comme dans le pays de Galles, la hausse est de 25 pour 100.

La Royalty qui était autrefois de 6 pence seulement varie aujourd'hui entre 9 pence et 1 sh. 6 d. et monte parfois jusqu'à 3 sh. En général la redevance est estimée à peu près au huitième du prix de vente ; mais dans certaines mines, à l'ouest de Dudley, on arrive au cinquième, si ce n'est au quart; voici quelques exemples de prix de revient :

Dans la couche dite *Brooch-coal*, qui fournit du charbon très-dur, fort recherché pour le chauffage domestique, il se compose des éléments suivants :

	sh.	d.
Extraction proprement dite (*getting*) (1)	4.	3
Travaux d'aménagement (*deadworks*).	2.	»
Redevances	»	9
Prix de revient de 2.400 liv. de *gros*, sans les intérêts des capitaux.	7.	»
Dans la même mine, le demi-gros (*lumps*) coûte.	4.	»
Et le menu (*slack*).	3.	3

(1) En général, un piqueur, travaillant 7 heures par jour, gagne 4 sh. et abat 3 tonnes de houille en morceaux dans la grande couche, mais moins de deux dans le brooch-coal.

Dans le *heathen coal*, les frais sont de :	sh.	d.	Dans la grande couche (*thick coal*) de :	sh.	d.
Getting	2.	7		2.	4
Deadwork.	2.	»		2,	»
Redevances.	1.	6		1.	6
Prix de revient du *large coal*.	6.	1		5.	10

A ces prix il faut ajouter pour frais de transport, des mines aux usines, 6 d. à 1 sh. (*Voyez* page 146 de la première partie.)

Remarquons au sujet de ces prix que, contrairement aux habitudes suivies dans le pays de Galles et en Écosse, les maîtres de forges du Staffordshire comptent rarement la houille à prix coûtant dans les prix de revient de la fonte et du fer. En effet, dans ce district, beaucoup de maîtres de forges ne sont pas propriétaires de mines ; les deux industries sont assez souvent tout à fait distinctes. Aussi, même là où elles sont confondues, on attribue à la houille en morceaux (*large coal* et *lumps*) un bénéfice d'un shelling par tonne. Le menu seul (*slack*) est compté à prix coûtant. Ainsi le prix moyen de 7 sh. 6 d. la tonne de gros charbon, rendu en forge, comprend en réalité un shelling de bénéfice, et si l'on voulait comparer les conditions du Staffordshire à celles du pays de Galles, il faudrait plutôt compter la houille à 6 sh. 6 d. C'est 1 sh. 6 d. de plus que le prix moyen dans les forges du pays de Galles.

Prix courant des houilles.

Donnons encore le prix courant des principales variétés de houille en juin 1860, le charbon étant livré en wagons ou en bateaux auprès du carreau de la mine :

1° Charbon de la couche dite *Brooch-coal* :

	sh.	d.	
En gros fragments (*large*).	8.	»	Destiné au chauffage domestique.
En fragments moyens (*lumps*). . .	5.	»	
Menu (*slack*)	2.	6	

2° Charbon de la grande couche (*Thick-Coal*) :

En gros fragments :	*best*	9. »	Pour chauffage domestique.
	second	8. »	
	inferior . . .	7. »	Pour puddlage, réchauffage et hauts fourneaux.
	for furnace.	6. 6	
En fragments moyens (*lumps*) . .		5. »	
Menu.	*slack good* . .	2. 9	Charbon pour chaudières et chauffage du vent.
	small.	2. 6	

Nature des houilles du Staffordshire.

Les houilles du Staffordshire, comme celles du district écossais, sont essentiellement sèches et à longue flamme. Elles perdent à la distillation au delà de 40 p. 100, et lorsqu'on carbonise le gros, on obtient au maximum 45 à 50 p. 100 de coke fort mal agglutiné. Quant au menu, on ne peut en faire du coke qu'en le mêlant avec du brai sec pulvérisé selon la méthode précédemment décrite de M. Blackwell.

Nous ne reviendrons pas sur les procédés de carbonisation du gros ; ils n'ont pas varié depuis trente ans, et nous les avons rappelés dans la partie générale. Disons seulement que le prix de revient du coke, fabriqué avec du demi-gros coûtant 6 à 7 sh. rendu en forge, est en moyenne de 15 sh., dont un shelling pour main-d'œuvre et outils ; et que le coke blanc argentin, bien fondu, que certaines usines reçoivent du Yorkshire, revient à 18 sh. les 2.400 tonnes.

§ 2. *Minerais de fer.*

Les minerais de fer, traités dans le Sud-Straffordshire, proviennent surtout du terrain houiller. Cependant on introduit aussi, d'année en année, des quantités croissantes de minerais divers ; et si ces derniers ne l'emportent pas encore, comme dans le pays de Galles, sur les minerais lithoïdes, ils fournissent pourtant déjà au delà du tiers de la production totale, tandis qu'en 1850 le carbonate houiller était traité seul.

Minerais importés.

Les minerais importés sont de trois sortes : L'hématite rouge du Cumberland, du Lancashire et de la forêt de Deam ;

Du minerai en roche, plus ou moins oolithique ou hydroxydé, venant surtout du terrain jurassique du Northamptonshire ;

Enfin l'hydroxyde schisteux en roche du Millstone-Grit, exploité à *Froghall*, dans le Nord-Staffordshire.

Les quantités annuellement fondues dans les usines des environs de Dudley ne sont pas rigoureusement indiquées par les états statistiques du Survey, mais on peut les évaluer approximativement :

Poids des minerais annuellement fondus.

En 1858, pour une production en fonte de 597.809 t., on a fondu :

Minerais houillers du Sud Staffordshire	959.000 à 35 p. 100
Minerais houillers du Warwickshire	29.500 à 35 p. 100
Hydroxyde schisteux de *Froghall*, avec une faible proportion de minerais houillers grillés du Nord-Staffordshire	300.000 à 45 p. 100
Hématites rouges du Lancashire, Cumberland, etc. . .	125.000 à 50 p. 100
Minerais divers des terrains secondaires.	100.000 à 40 p. 100
Total.	1.513.500

Ce total fournirait à peu près 585.000 tonnes de fonte. Le surplus provient des scories de forge, que l'on ajoute, depuis peu, en petites quantités, dans quelques établissements qui sacrifient la qualité au bon marché. On emploie pourtant de préférence les scories de réchauffage, et lorsque leur proportion ne dépasse pas 5 p. 100, les fontes de forge ne s'en trouvent pas altérées.

Nature des minerais.

Nous avons fait connaître, dans la partie générale, la nature spéciale de ces divers minerais. A part les hématites rouges, ils sont tous plus ou moins phosphoreux ; et si leur teneur dépasse celle des minerais houillers, ils renferment par contre moins de manga-

nèse. Ces minerais étrangers, si l'on en excepte les hématites rouges, ne sont donc pas de nature à améliorer la qualité des fontes du Staffordshire; et en effet, on recherche davantage les fontes du Shropshire, obtenues exclusivement à l'aide de minerais houillers (1).

Position des minerais houillers.

Dans le Staffordshire, comme dans le pays de Galles, le minerai lithoïde forme des veines, entre les couches de houille, dans l'étage houiller proprement dit; et là aussi, il est spécialement abondant dans la partie basse de l'étage en question. Ainsi, on en rencontre peu au-dessus de la grande couche, tandis que quatre veines, dont deux fort importantes, occupent la base du terrain, au-dessous de la dernière couche de houille (le *bottom coal*).

Nombre et richesse des veines de fer lithoïde.

D'après l'ingénieur ***Bute Jukes*** (2), le nombre total des veines serait de 15; mais toutes ne sont pas exploitables, et, de plus, elles n'existent jamais toutes dans la même région; tantôt les unes, tantôt les autres s'amincissent et disparaissent. En général, on ne peut compter, dans chaque exploitation, sur plus de 6

(1) Les mémoires du *Geological Survey* renferment les analyses d'un très-grand nombre de minerais houillers du Staffordshire, faites sous la direction du docteur Percy, à l'École des mines de Londres. D'après ces analyses, les minerais se composent le plus souvent de :

Protoxyde de fer	52	à	43
Protoxyde de manganèse	0,75	à	1,50
Chaux	1	à	4
Magnésie	1	à	2
Acide carbonique	33	à	31
Acide phosphorique	0,20	à	0.70
Pyrite de fer	0	à	0,20
Eau	1	à	2
Argile	10	à	15 (*a*)
	100		

(2) Mémoires du *Geological Survey : the iron ores of Great-Britain*, part. II, p. 105.

(*a*) L'argile renferme un tiers, ou au plus moitié, de son poids en alumine.

ou 7 veines, dont la puissance totale, y compris les intercalations stériles, varie de 12 à 18 pieds, et la puissance utile de 5 à 8 pieds. Les exploitations les plus riches en minerais entourent Bilston, au nord-ouest de Dudley, et cependant, même là, l'exploitation complète d'un acre de terrain donne rarement au delà de 11 à 12.000 tonnes de minerai, ou 3 tonnes par mètre quarré, ce qui équivaut à une puissance utile massive d'au plus $1^{m},20$. Si ce chiffre est encore notablement inférieur aux 5 à 8 pieds dont nous venons de parler, c'est que les veines sont rarement *continues*, et, en général, plutôt formées par une succession de rognons épars.

Les seuls minerais houillers ne suffiraient pas pour l'alimentation de tous les hauts fourneaux du Staffordshire.

On voit donc, en définitive, que le Staffordshire, comme le pays de Galles, est moins riche en minerai de fer qu'on ne le suppose communément sur le continent. L'avancement annuel des travaux est d'ailleurs à peu près aussi rapide sur le minerai que dans les couches de houille. On exploite par an 5 millions de tonnes de houille contre un million de minerai, et c'est précisément là aussi le rapport des quantités fournies, en minerai et houille, par une même étendue du territoire houiller : 15 tonnes de charbon pour 3 tonnes de minerai, par chaque mètre quarré du sol exploité. Mais cela même prouve que, si toute la fonte actuellement produite par le Sud-Staffordshire devait être fournie par les seuls minerais houillers du pays, il faudrait, relativement à la richesse souterraine, extraire plus de minerai que de houille, c'est-à-dire atteindre le chiffre de 1.750.000 tonnes au lieu de 1 million.

Prix de revient du minerai houiller.

Le prix de revient du minerai lithoïde, abstraction faite du bénéfice de l'exploitant, est à peu près le même dans le Staffordshire que dans le pays de Galles, malgré la différence du taux des redevances,

qui est de 1 sh. 6 d. à 2 sh. au lieu de 4 à 6 d. L'épaisseur plus grande des veines compense l'excès de la *royalty*. Les mineurs chargés de l'abatage gagnent, en moyenne, 3 sh. 3 d. à 3 sh. 6 d. par jour, et produisent $0^t,75$ à $1^t,20$ de minerai, selon les veines, au lieu de $0^t,50$ à $0^t,60$, produit d'un mineur dans le pays de Galles.

Dans une mine voisine de Bilston, nous avons trouvé le prix de revient suivant, comme résultat moyen de l'exploitation de 7 veines :

Par tonne de 2.640 liv. :

	sh. d.
Extraction proprement dite (*getting*)	5. 5
Travaux d'aménagement et frais accessoires (*deadworks*)	2. 6
Royalty	1. 9,5
Total	9. 8,5

Mais à ce prix il faut ajouter, comme pour la houille, le bénéfice de l'extracteur. Généralement, on admet 2 à 3 sh., et même 4 sh. pour les minerais de qualité supérieure; ce qui porte leur prix à 13 ou 14 sh. Et en effet, les minerais communs se payent généralement 12 sh.; et les meilleurs 15 à 16 sh. la tonne de 2.640 liv.; soit les 1,000 kil. de minerais ordinaires, $12^f,65$, et les meilleurs, $15^f,80$ à $16^f,85$. Ou, si l'on fait abstraction des bénéfices, pour comparer ces prix à ceux du pays de Galles, $10^f,50$ les minerais communs et 13 à 14 francs les minerais supérieurs, c'est-à-dire sensiblement les mêmes chiffres que dans les usines de South-Wales (1).

(1) Si, pages 210 et 225 de la première partie (tome XIX), les minerais du Staffordshire sont cotés à 1 francs de plus par 1.000 kil. que ceux du pays de Galles, c'est que ces prix comprennent le bénéfice de l'extracteur.

D'après les auteurs des *Voyages métallurgiques*, les 1.000 kil. de minerais communs coûtaient, il y a 30 ans, non compris le bénéfice, $8^f,70$. La hausse depuis cette époque est, par suite, comme sur la houille, d'environ 25 p. 100; hausse moindre que dans le pays de Galles, où nous avons trouvé jusqu'à 50 p. 100. Cette différence explique les progrès moins rapides de l'importation des minerais dans le Staffordshire.

Prix des minerais importés.

Donnons encore les prix de ces minerais importés :

Hématites rouges du nord de l'Angleterre :

	sh. d.	sh. d.
La tonne légale de 2.240 liv. sur les lieux.	10. 6	à 11. 6
Fret par chemin de fer	8	9
Total	18. 6	à 20. 6
Soit les 1.000 kil.	$22^f,50$	à $25^f,00$

Minerai oxydé de *Froghall* (Nord Staffordshire) :

La tonne de 2.400 liv. sur les lieux	8 sh. à 9 sh.
Fret par canal ou chemin de fer	7 sh.
Total	15 sh. à 16 sh.
Soit les 1.000 kil.	$17^f,48$ à $18^f,50$

Minerais des terrains secondaires du Northamptonshire :

La tonne de 2.400 liv. sur les lieux	5 sh.
Fret par chemin de fer	7 sh. à 8 sh.
Total	12 sh. à 13 sh.
Soit les 1.000 kil.	14 fr. à 15 fr.

Grillage des minerais.

Dans le Sud-Staffordshire, les minerais houillers sont constamment grillés en grand tas à l'air libre. Nous avons fait connaître cette opération (p. 128); nous n'y reviendrons pas. Rappelons seulement qu'elle consomme 10 à 15 p. 100 de houille et coûte 85 cent. par tonne, mais que ces frais sont toujours confondus avec ceux des hauts fournaux, si ce n'est pour les minerais houillers du Nord-Staffordshire qui sont grillés

sur la mine même et vendus en cet état aux usines du Sud-Staffordshire.

§ 3. *Castine, argile réfractaire, briques, etc.*

La castine provient du calcaire silurien. Ce dernier perce le terrain houiller sur la ligne de Dudley à Wolverhampton, ainsi qu'à l'est de la ville de Walsall. Il y est exploité à ciel ouvert, ou par des travaux souterrains d'une faible profondeur. Dans les deux cas, le prix de revient des 2.400 liv. est de 2 sh., ou celui des 1.000 kil. ou de 2f,30.

L'argile réfractaire, très-abondante dans le terrain houiller, coûte 10 à 12 sh. la tonne. Les mille briques réfractaires, pesant 3 tonnes, se vendent 52 à 60 sh. selon leur qualité, les briques mi-réfractaires, 25 sh. et les briques rouges de bonne qualité, 20 sh.

CHAPITRE XV.

FABRICATION PROPREMENT DITE DE LA FONTE.

§ 1. *Profil, agencement et allure des hauts fourneaux du Sud-Staffordshire.*

Le produit *normal* des hauts fourneaux du Sud-Staffordshire est la fonte de forge gris-clair (*bright*), semblable aux nos 3 et 4 de Blaenavon et Yniscedwin dans le pays de Galles. Cependant, à côté de ce produit normal, quelques maîtres de forge s'appliquent aussi à produire, les uns, des fontes de *moulage* d'un gris plus foncé (les nos 1 et 2) ; les autres, de la fonte truitée ou blanche (les nos 5 et 6), pour fers doux de qualité inférieure. Mais on ne va jamais ni jusqu'aux fontes

noires d'Écosse, ni jusqu'aux fontes blanches grenues et caverneuses du pays de Galles.

On conçoit d'ailleurs que pour avoir, soit des fontes grises supérieures, soit des fontes truitées inférieures, les maîtres de forge du Staffordshire aient recours aux mêmes moyens que ceux du pays de Galles :

Pour les fontes supérieures, allure chaude, houille carbonisée, parfois vent froid, et, en général, exclusivement des minerais houillers ;

Pour les fontes inférieures, allure à demi froide, houille crue, vent chaud et minerais communs, houillers ou importés. On ajoute aussi, dans ce derniers cas, des scories de forge, mais en général au plus 10 p. 100.

Quant aux fontes *normales* du Staffordshire, on les obtient, en général, à l'air chaud, au mélange de houille crue et de coke, et en chargeant deux tiers de minerais indigènes pour un tiers de minerais importés. On y mêle au plus 5 p. 100 de scories de forge et alors uniquement des scories provenant du réchauffage.

Profils des hauts fourneaux.

Dans la partie générale, nous avons fait connaître les profils des fourneaux du Staffordshire. Nous pouvons donc nous borner ici à une sorte de résumé.

Les hauts fourneaux modernes (Pl. VI, *fig.* 4) ont encore, presque tous, comme les anciens, de véritables étalages. Cependant on a aussi adopté, dans quelques usines, des ouvrages élargis à ventre élevé. Le fourneaux no 3 de l'usine de Bilston (*fig.* 3) en est un exemple. Mais cette innovation nous paraît peu heureuse pour la production des fontes grises. Autant l'élargissement des parties hautes est désirable, si l'on veut rendre possible une forte production, autant l'agrandissement outré de l'ouvrage est nuisible sous le rapport de la consommation du charbon. On ne peut

qu'imparfaitement y remédier par la multiplication du nombre des tuyères.

Le volume de la cuve, sans être aussi colossal que celui des plus grands fourneaux du pays de Galles, est pourtant aujourd'hui de 120 à 130 mètres cubes, au lieu de 70 à 75 mètres cubes, volume ordinaire vers l'année 1830. Quelques hauts fourneaux exceptionnels, comme le n° 3 de Bilston, vont même jusqu'à 175 mètres cubes. Mais, à volume égal, les fournaux du Staffordshire, à cause de la nature plus chaude des fontes, n'ont pas, à beaucoup près, une production aussi élevée que ceux du pays de Galles. La descente des charges y est plus lente. Par tonne de fonte, produite dans les 24 heures, le vide intérieur atteint 7 mètres cubes à $7^{mc},50$, au lieu de 5 à 6 mètres cubes comme dans le pays de Galles.

Pour les autres dimensions, on peut consulter le tableau de la page 137, et les *fig.* 3 et 4 de la *Pl.* VI. Ces chiffres prouvent que si, dans l'espace de 30 ans, le volume des fourneaux a presque doublé, c'est presque uniquement par l'élargissement du ventre et du gueulard. La hauteur a peu varié, et pourrait difficilement être augmentée à cause de la friabilité du combustible carbonisé. Elle est encore aujourd'hui de 12 à 13 mètres; 14 mètres est un maximum rarement atteint.

Les ventres ont aujourd'hui 4 mètres à $4^{m},50$; les gueulards, $2^{m},50$ à 3 mètres.

Les grands hauts fourneaux du Staffordshire ont en général deux tuyères parallèles dans chacune des trois embrasures. Nous n'en avons trouvé nulle part dans la face de poitrine.

La plupart des hauts fourneaux affectent, à l'extérieur, jusqu'au ventre, la forme pyramidale ordinaire,

tandis que la partie haute est conique, cerclée de barres de fer.

A Russel-Works, près de Dudley, le massif extérieur de deux hauts fourneaux neufs, revêtus de feuilles de tôle, repose sur colonnes, ce qui a permis d'adopter cinq tuyères convergentes, symétriquement disposées autour du centre.

Un pareil haut fourneau coûte aujourd'hui, dans le Staffordshire, sans la machine soufflante, l'appareil à air chaud et les autres constructions accessoires, 12 à 1.300 £, et chaque appareil à air chaud, 575 £.

L'emploi des gaz est tout à fait exceptionnel dans le Staffordshire; nous ne les avons vus nulle part utilisés. En général, les fondeurs de ce district craignent les innovations; plus qu'ailleurs on y redoute les hommes à connaissances théoriques. En dehors du *practical man*, pas de salut (1). Néanmoins, dans le Staffordshire comme dans le pays de Galles, le vent chaud et la houille crue sont depuis longtemps d'un emploi général. Pourtant, là aussi, on a constaté dans ce cas l'altération de la fonte. Les maîtres de forge qui recherchent la qualité plus que le bon marché, sont revenus à l'air froid et carbonisent (*désulfurent*) la houille. D'ailleurs en Angleterre, à cause du bas prix du combustible, les avantages de l'air chaud sont moins considérables que sur le continent.

Appareils accessoires des hauts fourneaux.

Les appareils accessoires des hauts fourneaux tels que monte-charges, machines soufflantes, halles de coulée, appareils à air chaud, etc., n'ont rien de spé-

(1) Nous sommes bien éloignés de vouloir jeter la pierre à la pratique; mais nous pensons qu'un peu de théorie ne gâte rien non plus.

cial dans le Staffordshire. Les dispositions anciennes, abandonnées ailleurs, y sont encore fréquentes.

Allure des hauts fourneaux.

Quant à la composition des charges et à la marche des hauts fourneaux, nous pouvons renvoyer également aux détails précédemmeent donnés. Rappelons seulement que l'allure est moyennement chaude, et que, grâce à la fusibilité et à la réductibilité extrêmes des minerais houillers, la conduite des fourneaux ne présente jamais aucune difficulté. Le travail est même si facile que, dans presque toutes les usines, on laisse chômer les hauts fourneaux du samedi au lundi : il suffit de faire le samedi soir quelques charges légères, et de fermer ensuite les tuyères et le gueulard. Le lundi matin, lorsqu'on remet le vent, le fourneau reprend de suite sa marche accoutumée sans le moindre dérangement.

Aspect des laitiers.

Grâce aussi à la prédominence des minerais houillers et à la rareté relative des scories de forge, les laitiers sont peu ferrugineux et affectent toujours, après leur refroidissement, la teinte olive claire, à apparence émaillée, des proto-silicates terreux, chargés de sulfure de manganèse.

Aspect du gueulard.

La flamme des gueulards est toujours blanche et vive, lorsqu'on marche à la houille crue, et d'autant plus volumineuse, dans le Staffordshire, que tous les charbons de ce district sont riches en matières volatiles. Cependant ces houilles n'ont pas le défaut des anthracites et des charbons du district écossais; elles n'embarrassent pas le creuset de fraisil incombustible et n'exigent presque jamais de purge spéciale.

Main-d'œuvre.

Chaque haut fourneau exige, par 12 heures, un fondeur chef et un chargeur chef, assistés d'un certain nombre d'aides, de remplisseur de wagons, de grilleurs de minerai, de rouleurs, casseurs, etc. Presque

tous, même les ouvriers chargés de la carbonisation, sont payés à tant la tonne de fonte.

Ces prix sont calculés de façon à produire :

	sh. d.	sh. d.
Au chef fondeur des journées de.	5. 0	à 5. 3
Au chef chargeur.	3. 6	à 3. 9
Aux remplisseurs de wagons, chauffeurs de machine, forgeron pour outils, etc. . . .	3. 6	
Au chargeur de laitier.	2.10	

Tandis que le simple manœuvre gagne 2 sh. à 2 sh. 4 d. par jour et le machiniste 26 sh. par semaine.

Qualités des produits.

Les fontes du Staffordshire sont bien supérieures aux fontes-types d'Écosse et du pays de Galles. Elles sont plus tenaces que les premières et donnent de meilleurs fers que les secondes ; mais, on ne saurait assez le répéter, cette supériorité est moins le fait des minerais que des procédés de fusion. Que la houille soit partout carbonisée, l'allure moins chaude en Écosse, les scories supprimées dans le pays de Galles, et l'on aurait, dans ces deux districts, des fontes peu différentes de celles du Staffordshire. Cependant la nature spéciale des minerais d'Écosse rendra toujours difficile la production de fontes aussi pures et aussi tenaces que celles que l'on peut obtenir dans certaines fonderies du centre et du sud-ouest de l'Angleterre. Rappelons d'ailleurs que les meilleures fontes du Staffordshire sont toutes plus ou moins phosphoreuses, et ne sauraient, en aucune façon, être comparées à nos fontes au bois de Comté, du Berry et du Périgord.

Lorsqu'on parcourt les nombreuses usines du Staffordshire, on reconnaît à première vue que, sous le rapport de l'uniformité des produits, ce district ressemble beaucoup plus à l'Écosse qu'au pays de Galles. A très-peu d'exceptions près, on cherche à obtenir

partout les mêmes fontes grises de forge. Et si ces dernières ne sont pas toujours également pures, à cause de l'emploi plus ou moins exclusif de la houille crue ou du coke, de l'air chaud ou de l'air froid, ces différences sont pourtant moins considérables que dans le pays de Galles.

§ 2. *Résultats généraux.*

Le Sud-Staffordshire renfermait, d'après R. Hunt:

	hauts fourneaux.		
En 1857,	180	dont 158 en feu,	produisant 657.295 t.
En 1858,	186	dont 147 en feu,	produisant 597.809

Soit 4.000 tonnes par haut fourneau ou 12 à 13 tonnes par 24 heures.

Cette moyenne est faible, soit à cause des interruptions du dimanche, soit parce que beaucoup de hauts fourneaux appartiennent encore à l'ancien modèle de 70 à 75 mètres cubes de capacité qui ne rendent pas au delà de 10 tonnes par 24 heures.

Parmi les plus modernes, il en est d'ailleurs fort peu qui atteignent 20 tonnes. Les plus grands seuls vont à 24 tonnes, comme le n° 3 de l'usine de Bilston.

Consommations par tonne de fonte.

La marche des hauts fourneaux du Staffordshire est résumée dans les colonnes horizontales 4, 5 et 6 des tableaux rapportés aux pages 138 et 174.

Le volume de la cuve, eu égard à sa production, est compris, comme on doit s'y attendre, d'après la nature de la fonte, entre les chiffres qui se rapportent aux usines écossaises et ceux des hauts fourneaux du pays de Galles : c'est 7 mètres cubes par tonne de fonte en moyenne.

La pression du vent varie, comme dans le pays de Galles entre $0^m,13$ et $0^m,16$; sa température entre 300

et 330°. Le volume du vent par tonne de fonte est de 6.500 mètres cubes pour les fontes grises de forge à l'air chaud, et de 7.500 à 8.000 pour les fontes de moulage à l'air froid. C'est plus qu'en Écosse à cause de la moindre richesse des minerais.

Par tonne de fonte grise de forge on consomme, pour la fusion proprement dite, lorsqu'on marche à l'air chaud et en majeure partie à la houille crue : $2^t,75$ à 3 tonnes de combustible naturel, ou $1^t,40$ à $1^t,50$ de carbone fixe, et lorsqu'on marche à l'air froid et au coke, 3 tonnes à $3^t,50$ de combustible cru, ou $1^t,50$ à $1^t,80$ de carbone fixe.

On brûle, en outre, en houille plus ou moins menue, pour grillage : $0^t,10$, et pour le chauffage des chaudières et du vent $0^t,75$ à $1^t,10$.

Ces consommations sont plus fortes que dans les deux districts précédents, parce que la fonte est moins chaude et la houille plus carburée dans le pays de Galles; le minerai plus riche et le vent plus chaud en Écosse.

Par les mêmes motifs, la tonne de houille fond aussi, dans le Staffordshire, un poids moindre de minerai et de castine. De là un prix de revient plus élevé, comme le prouvent les détails qui vont suivre.

Prix de revient de la fonte de forge normale du Staffordshire.

La fonte de forge normale, obtenue à l'air chaud et sans scories de forge, a coûté, en moyenne, dans l'une des principales usines du Staffordshire, 3 liv. 15 sh. 3 d. la tonne de 2.400 liv., pendant les dix-huit mois finissant au 31 mai 1860. On marchait avec moitié houille et moitié coke, et presque exclusivement au minerai houiller.

Voici le détail :

	tonnes		sh. d.	sh.
Minerai houiller (pesé brut)	2,400	à	13. 9	33. »
Hématite rouge	0,350	à	20. »	7. »
Total du minerai	2,750			40. »
Houille pour fusion	2,800	à	7	19. 7
Houille menue pour grillage, air chaud et chaudières	1,200	à	3	3. 7
Castine	0,450	à	2	» 11
Main-d'œuvre				7. «
General charges, non compris les intérêts				4, 2
Prix de revient de 2.400 t. de fonte de forge				3l. 15. 3 (1)

Dans d'autres années nous avons trouvé à la même époque 3 l. 10 sh. et 3 l. 7 sh. Pour arriver là, il suffit d'accroître la proportion de houille crue, de charger 5 à 10 p. 100 de scories de forge, ou de remplacer une partie du carbonate houiller par des minerais hydratés et oolithiques des terrains secondaires. Alors la charge en minerais est ramenée à 35 ou 36 shellings, et la houille consommée à 2t,50, valant 17 sh. 6 d. Ailleurs aussi, par une production plus forte, on peut abaisser quelque peu la main-d'œuvre et les frais généraux.

D'autre part, lorsqu'on marche exclusivement, au coke, on consomme 3 tonnes de houille, et la main-d'œuvre s'acccoît légèrement par le fait de la carbonisation totale de la houille; alors le prix de revient monte à 3 l. 18 sh.

Le prix de revient n'a pas baissé depuis 30 ans.

Ainsi, dans la plupart des établissements, le tarif des fontes de forge grises du Staffordshire varie, en ce moment, entre 3 l. 7 sh. et 3 l. 18 sh.; soit pour les 1.000 kil. entre 77f,45 et 90f,40. Or ce dernier prix diffère à peine de celui de 1830, époque à laquelle on

(1) Il ne faut pas oublier, lorsqu'on compare ces prix avec ceux du pays de Galles, qu'une partie de la différence provient du bénéfice implicitement renfermé ici dans les prix de la houille et du minerai.

consommait aussi uniquement du coke. Les auteurs des *Voyages métallurgiques* évaluent, en effet, à 88f,70 le prix de revient des 1.000 kil. vers cette époque. Ainsi, comme nous le disions dans l'introduction à cette deuxième partie de notre travail (page 112), le prix de revient des qualités identiques est resté stationnaire depuis trente ans. Si la consommation totale en houille (pour fusion, chaudière, grillage et vent) est descendue pendant ce temps de 6 ou 6t,50 à 4 tonnes (p. 115) le prix des matières premières a, par contre, haussé au point de compenser l'économie faite sur le poids du combustible; et si, dans bon nombre d'usines, le coût de la fonte est descendu à 77f,45, cela vient de l'emploi plus général de la houille crue et de l'addition de scories de forge ou de minerais inférieurs, qui altèrent notablement la fonte.

A qualité égale, nous le répétons, les fontes sont aussi chères qu'en 1830. L'utilisation complète des gaz, pour le chauffage du vent et des chaudières, n'amènerait d'ailleurs, vu le bas prix de la houille menue, qu'une économie de 2 à 3 sh.; aussi, en présence de l'augmentation croissante de la main-d'œuvre et des minerais, nous pouvons conclure, comme pour le pays de Galles, que les fondeurs du Staffordshire sont arrivés à la limite inférieure du coût des fontes, et qu'à l'avenir il y aura plutôt hausse que baisse.

Prix de revient des fontes de forge *extra*.

Mais à côté des fontes grises *normales*, dont nous venons de parler. le Staffordshire fournit aussi, dans les deux sens, des fontes *extra*. Quelques établissements, cédant à la tentation de fabriquer à bas prix, ont graduellement augmenté les additions de scories et sont finalement arrivées à produire des fontes blanches de tous points semblables à celles du pays de Galles.

Dans ce cas, le prix de revient peut descendre jusqu'à 2 l. 15 sh.

D'autre part, lorsqu'on veut produire des fontes supérieures à l'air froid, le prix de revient dépasse la moyenne des fontes normales de 10 à 15 sh., et atteint alors, par 2.400 tonnes, 4 l. 5 sh. à 4 l. 10 sh. C'est le prix des fontes grises analogues de Pontypool. Ajoutons que ces fontes à l'air froid forment à peine les 10 ou 12 p. 100 de la production totale.

Prix de revient des fontes de moulage.

Enfin si, au lieu de fontes grises de forge à l'air chaud, on cherche à produire spécialement les numéros supérieurs pour moulage, la consommation s'accroîtra d'une demi-tonne, et la production deviendra plus faible. Le prix de revient est alors de 4 l. à 4 l. 5 sh., au lieu de 3 l. 15 sh. à 3 l. 18 sh.

§ 3. *Débouchés et conditions de vente.*

Les fontes du Staffordshire sont spécialement destinées, comme celles du pays de Galles, au travail des forges; au plus 15 à 20 p. 100 sont vendues comme fontes de moulage. Ces dernières sont en majeure partie moulées dans le district même, ou à Birmingham et dans les environs. Une bien faible partie est expédiée au loin sous forme de fonte brute.

Les fontes de forge sont aussi affinées, à peu près entièrement, dans le district même. Bien plus, quelques forges du Staffordshire achètent, outre les fontes du pays, certaines fontes des sous-districts voisins du Shropshire et du Derbyshire, ou des fontes de *Red-Ores* venant du Cumberland et du Lancashire.

Dans tous les cas, les fontes du Staffordshire sont bien plus que celles du pays de Galles un produit marchand. Si quelques grands établissements se composent de

hauts fourneaux et de forges, d'autres fabriquent, les uns, uniquement de la fonte; les autres, uniquement du fer.

Pour faciliter les ventes de fontes, on les classe toujours en six numéros :

Les nos 1 et 2, comme fontes de moulage.
Les nos 3 et 4 (produit normal), comme fontes grises de forge.
Les nos 5 et 6 (produit accidentel, truité ou blanc), comme fontes inférieures de forge.

Les fontes sont vendues en forge, ou chargées en bateaux ou en wagons sur les embranchements qui desservent les usines.

Nous pourrions donner, pour les dernières années, un prix courant par trimestre, semblable à celui des fontes du pays de Galles (p. 567); mais c'en serait presque une répétition, car, dans les deux districts, les prix de vente varient parallèlement.

Baisse de prix en 1857.

On peut constater en particulier qu'en 1857 la crise commerciale a produit, de septembre à décembre, comme dans le pays de Galles, une baisse subite de 10 sh., sur la fonte et de 1 liv. sur le fer en barres. M. R. Hunt, dans sa statistique pour 1857, fait ressortir l'effet de cette baisse sur l'activité industrielle du Staffordshire (1). Au mois de septembre, sur 180 hauts fourneaux, 24 seulement étaient en chômage, tandis qu'en décembre il y en avait déjà hors feu 69. La main-d'œuvre fut abaissée en même temps de 12 1/2 p. 100 sur l'ensemble de tous les travaux de

(1) Nous avons déjà montré (p. 179) que, par suite de cette même crise, la production total du Royaume-Uni a baissé de 200.000 tonnes en 1858 sur 1857, et le prix moyen de la fonte de 8 sh.

forges et de mines; les puddleurs en particulier durent subir une réduction d'un shelling par tonne de fer brut livré.

Bénéfices réalisés.

Depuis la fin de 1857, les prix sont restés à peu près invariables, sauf une nouvelle baisse de 10 sh. vers le milieu de 1860.

Fin 1859, les prix de vente étaient les suivants :

NATURE DES PRODUITS.	PRIX DES 2.400 LIV.		PRIX DES 1.000 KIL.	
	Air chaud.	Air froid.	Air chaud.	Air froid.
Fontes blanches inférieures de forge, avec forte addition de scories	2l,16sh à 3 liv.	(a)	64f,15 à 70 fr.	(b)
Fontes de forges *normales* nos 3, 4 et 5	3l. 8sh à 4 liv.	4l, 5sh à 4l, 10sh	79 fr. à 92f,75	98f,50 à 104f,35
Fontes de moulage nos 1 et 2.	4 liv. à 4l,10sh	4l,10sh à 5 liv.	92f,75 à 104f,35	104f,35 à 116 fr.

(a) et (b) On n'en fait pas à l'air froid.

En comparant ces prix de vente aux prix de revient, on voit que le bénéfice est à peu près nul. Ainsi, en prenant les fontes de forge normales, dont les prix de revient varient de 3 l. 7 sh. à 3 l. 18 sh., et les prix de vente entre 3 l. 8 sh. et 4 liv., on voit que le bénéfice moyen, y compris les intérêts des capitaux, ne serait que de 1 à 2 sh. par tonne.

Rappelons toutefois que les principaux maîtres de forges sont aussi propriétaires ou amodiataires de mines, et gagnent ainsi 1 à 2 sh. par tonne de houille et de minerai consommés. Leur position n'est donc pas aussi déplorable qu'il semble, d'après le rapprochement des chiffres précédents.

Mais tous ceux qui n'ont pas ces ressources sont

réellement, depuis plusieurs années, dans une position assez critique; et en effet, à la suite de la nouvelle baisse de 1860, plusieurs établissements ont dû s'arrêter, et quelques autres ont fait faillite.

La situation générale de l'industrie du fer dans le Staffordshire n'est, par suite, depuis quatre ans, pas plus brillante dans le Staffordsdshire que dans le pays de Galles.

Disons, en terminant, que les maîtres de forges du Staffordshire n'ont pas, comme les fondeurs écossais, un magasin général où ils peuvent déposer leur *stock* de fonte contre des *billets de gage*. On travaille plutôt pour *stocks* de fer en barres; mais ces derniers sont en général aux mains des négociants de Londres et de Liverpool, et profitent peu aux maîtres de forges du pays.

CHAPITRE XVI.

SOUS-DISTRIT DES FORGES DE LOWMOOR, BOWLING, ETC. DANS LE YORKSHIRE (*West Riding*).

Les fontes et les fers les plus estimés du Royaume-Uni proviennent d'un certain nombre de forges groupées autour de Bradford, vers l'extrémité nord du bassin houiller central. Ce district comprend 13 établissements avec 33 hauts fourneaux dont 24 produisirent, en 1858, 85.936 tonnes de fonte.

L'usine la plus renommée de ce district par la qualité de ses produits est *Lowmoor*. Viennent ensuite *Bowling* et *Bierley*, puis *Farnley*. Ces quatre usines sont aussi les plus importantes, car elles renferment :

Lowmoor	6	hauts fourneaux.
Bowling	5	—
Bierley	4	—
Farnley	4	—

Chacune d'elles comprend en outre fonderie et forge, car elles ne vendent de la fonte brute que fort exceptionnellement.

Nous n'avons visité que *Lowmoor*, et c'est aussi de cette usine seule que nous allons parler; mais les conditions et le mode de fabrication sont à peu près les mêmes à *Bowling* et *Bierley*. Bowling en particulier est dans la même situation que Lowmoor, car les deux établissements sont à moins de 2 kilomètres l'un de l'autre. Ils sont tous deux placés sur la lisière nord du bassin central, non loin du millstone-grit, et au centre des plateaux incultes qui dominent Bradford. Sous ce rapport, comme au point de vue des approvisionnements en houille et minerai, leur position ressemble beaucoup à celle des grandes usines du pays de Galles; le combustible et le minerai sont exploités sur place par les forges elles-mêmes, qui possèdent l'une et l'autre plusieurs milles quarrés de terrain. La houille revient à 5 ou 6 sh., et le minerai houiller à 10 ou 12 sh. la tonne légale de 2.240 liv. (1.015 kil.).

La houille est dure, à longue flamme, comme celle du Staffordshire; mais paraît néanmoins plus grasse, car le menu peut, au moins en partie, se carboniser en fours. Le charbon de ce district est d'ailleurs très-peu pyriteux, surtout celui qui provient du *better-bed* de Lowmoor.

C'est à la pureté parfaite de ce combustible et aux soins particuliers de la fabrication, plus qu'à la nature spéciale des minerais, que l'on attribue l'excellence des produits de Lowmoor (1).

Les minerais traités dans les usines de ce district ne diffèrent, en effet, nullement des minerais houillers

(1) Première partie, page 207.

ordinaires; le docteur Percy le déclare positivement (1). On exploite surtout deux veines, le *white bed mine* et le *black bed mine*, ainsi nommées d'après la nuance plus ou moins foncée des rognons.

Voici leur composition d'après le docteur Percy :

ÉLÉMENTS CONTENUS.	MINERAI du white bed.	MINERAI du black bed.
Oxyde de fer	36,58	36,75
Oxyde de manganèse	0,94	1,38
Chaux	2,78	2,70
Magnésie	2,22	2,05
Alumine	0,80	0,52
Acide carbonique	25,41	26,57
Acide phosphorique	0,48	0,34
Pyrite de fer	0,18	tr.
Eau	1,85	1,77
Matière bitumineuse	0,23	2,40
Résidu insoluble	28,00	25,27
	99,47	99,85
Le résidu insoluble se compose d'ailleurs de		
Silice	19,13	17,37
Alumine	6,83	6,22
Oxyde de fer	0,57	0,84
Chaux	0,11	tr.
Magnésie	0,07	0,12
Potasse	0,78	0,65
	27,49	25,20

Les deux minerais renferment 29 p. 100 de fer. Comme tous les carbonates houillers du Royaume-Uni, ceux de Lowmoor sont très-fusibles et très-réductibles; mais l'acide phosphorique y est aussi abondant que dans ceux du Staffordshire. Le manganèse n'est pas d'ailleurs en proportion plus forte; la pyrite seule y est peut-être un peu moins fréquente.

Au minerai houiller on ajoute, depuis quelques années, une faible dose de *red ore* pulvérulent et pur du Cumberland.

Pour obtenir, à l'aide de ces minerais, de la fonte de

(1) *Geological Survey* (*the iron ores of Great-Britain*, part. I, p. 31).

qualité supérieure, on procède comme à Pontypool et comme dans les usines du Staffordshire qui produisent des fontes tenaces et pures.

La houille est complétement carbonisée : le menu en fours, le gros en meules.

Le minerai est longtemps exposé à l'air, puis trié avec soin et grillé en fours.

Les hauts fournaux marchent à l'air froid, exclusivement au coke et sans addition de scories. L'allure est chaude; mais, pour éviter la réduction des matières étrangères, on charge, comme à Pontypool, une tonne de castine par tonne de fonte.

La réduction de la silice et des métaux terreux est également combattue par des dimensions relativement grandes de la région de fusion, ou plutôt par l'absence d'étalages proprement dits (Pl. VI, *fig.* 15). Dans la crainte d'altérer les produits, on s'est bien gardé de rien modifier dans l'établissement depuis un temps fort long. Les hauts fourneaux sont encore ce qu'ils étaient il y a 30 ou 40 ans.

Non-seulement on n'a jamais essayé ni l'air chaud, ni la houille crue, ni l'emploi du gaz, mais encore, on est resté aux anciennes tuyères ouvertes, et leur nombre est de trois seulement comme autrefois.

La seule modification que l'on se soit permise depuis 30 ans est l'addition, à la charge, d'une très-faible quantité d'hématite rouge pulvérulente du Cumberland.

Les laitiers, comme ceux de Pontypool, sont basiques et pierreux (*courts*), et spécialement caractérisés par la nuance olive, ou vert-pomme clair, du sulfure de manganèse.

La production des hauts fourneaux ne dépasse pas 10 tonnes par 24 heures ou 3.000 à 3.500 tonnes par année. On cherche surtout à obtenir les nos 2 et 3,

qui sont à *grains* moyens et brillants, mais d'une nuance assez foncée. La consommation est, comme à Pontypool, d'au moins 4 tonnes de houille pour la fusion proprement dite, et d'environ 5 tonnes, en y comprenant le charbon pour grillage et chaudières.

Nous n'avons pas les éléments nécessaires pour évaluer exactement le prix de revient de la fonte, mais comme le minerai et la houille sont à peu près aussi chers que dans le pays de Galles, il ne doit pas être éloigné de 4 liv. 5 sh.

Les nos 1 et 2 sont refondus pour canons de marine, que l'on achève entièrement, par forage et alésage, dans l'usine même.

Le no 3 sert à la fabrication du fer en barres, ou plutôt est transformé presque exclusivement en tôle supérieure et bandages de locomotives. Nous verrons plus tard que, quoique cette fonte soit relativement pure, il faut pourtant la soumettre encore à un mode spécial d'affinage fort compliqué pour en obtenir du fer supérieur, capable de rivaliser avec nos bons fers au bois.

Sur les six hauts fourneaux, cinq sont généralement en feu. Leur production annuelle est d'environ 17 à 18.000 tonnes. Une partie, comme nous l'avons dit, se coule en canons ; mais la masse est soumise à l'affinage et fournit annuellement à peu près 10.000 tonnes de fer. La production de Bowling est presque aussi forte. Celle de Bierley et Farnley un peu moindre.

Ni Lowmoor, ni Bowling ne vendent jamais de la fonte en gueuse. Les deux établissements sont depuis longtemps dans un état prospère. Disons, en terminant, que les frais de transport par chemins de fer sont, pour le fer, de 14 sh. la tonne jusqu'à Liverpool.

(*La suite prochainement.*)

NOTE

SUR LE FREIN APPLIQUÉ AUX VÉHICULES DU CHEMIN DE FER DE LYON A LA CROIX-ROUSSE.

Par MM. MOLINOS et PRONNIER, ingénieurs.

Le chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse est destiné à relier les deux quartiers les plus populeux de la ville de Lyon, les Terreaux et la Croix-Rousse, séparés par une différence de niveau de 70 mètres.

Cette différence de niveau est rachetée au moyen d'un plan incliné d'environ 500 mètres de longueur présentant une pente uniforme de $0^{m},165$ par mètre, sauf les paliers des gares extrêmes.

La traction est opérée par des machines fixes au moyen de câbles. La puissance des machines est de 150 chevaux.

Les voyageurs seront transportés dans des wagons à deux étages renfermant 100 places ; chaque train peut se composer au maximum de trois voitures pesant toutes chargées 18.000 kil. environ chacune, et produisant ensemble sur l'extrémité du câble et sur la rampe un effort de traction de $3.000 \times 3 = 9.000$ kil.

La vitesse des trains sera d'environ 2 mètres.

Le danger de cette exploitation, on peut dire qu'il est le seul, consiste évidemment dans la possibilité de la rupture du câble. Toutes les précautions doivent être prises pour que cet accident, si rare qu'il puisse être rendu par une surveillance attentive, ne soit pas une cause de péril pour les voyageurs. Il faut donc

que les wagons soient munis d'un frein très-sûr et très-énergique ; que ce frein fonctionne instantanément au moment de la rupture du câble, et, par conséquent, qu'il soit automoteur; enfin comme précaution surabondante, il faut qu'il puisse également être mû à la main.

Nous avons cherché à remplir ces différentes conditions par la disposition du frein que nous allons décrire (Pl. IX).

La pente de $0^{m},165$ par mètre, étant généralement au-dessus de l'angle de frottement (1), nous ne pouvions nous contenter du simple enrayage des roues; dans certaines conditions d'humidité des rails, les roues enrayées, les wagons auraient continué à descendre, et le danger n'eût pas été évité.

Le frein devait donc se composer de deux appareils, l'un destiné à enrayer les roues, l'autre à compléter le premier par l'addition d'une force capable d'arrêter le wagon dans les circonstances les plus défavorables. Parmi les divers moyens qui se présentent pour résoudre le problème, nous avons choisi celui qui consiste à créer un frottement additionnel au moyen de deux puissantes pinces qui saisissent les rails et les serrent par la descente même du wagon.

Pour rendre l'ensemble de l'appareil automoteur, nous l'avons relié au ressort de traction toujours tendu pendant la marche, mais qui, se détendant si le câble vient à casser, fournit l'effort nécessaire pour faire fonctionner l'appareil.

(1) On sait, en effet, que la tangente de cet angle pour le fer varie de 0,12 à 0,20 et même 0,25, suivant l'état des surfaces, pourvu qu'elles ne soient pas graissées, car, dans ce cas, le coefficient descend jusqu'à 0,07 et même au-dessous.

L'enrayage des roues est effectué au moyen de quatre freins à bandes *b*, *b* (*fig* 1 et 2) entourant la jante de chaque roue et analogues à ceux qui sont employés sur les grues. Ces freins sont serrés au moyen de contre-poids P, P; tant que le ressort de traction *t*,*t* est tendu, ces contre-poids reposent par l'extrémité de leurs leviers sur des fourches *f*, *f*, *f* fixées sur un arbre *a*, *a*, *a*. Lorsque le ressort de traction se détend, il pousse un déclic qui, en faisant tourner l'arbre, provoque la chute des contre-poids, et par suite le serrage des freins.

Le second appareil se compose essentiellement d'un arbre A, A placé à peu près au centre du wagon, et portant à chaque extrémité deux systèmes identiques; chacun d'eux consiste en une poulie à gorge conique ϖ, ϖ fixée sur l'arbre, placée entre deux larges mâchoires en fer M, M, au travers desquelles passe l'arbre avec un jeu convenable.

Chaque mâchoire est reliée à une pièce en forme de joug formant écrou au centre, dans laquelle se visse l'arbre de la poulie; les deux filets de l'arbre sont en sens contraire.

Le jeu de l'appareil est facile à concevoir; si en effet on laisse tomber l'arbre et le double système qu'il porte sur les rails, les poulies à gorge, ϖ,ϖ, étant placées immédiatement au-dessus de ces rails, les embrayent par frottement; si alors le wagon descend, chaque poulie tourne avec l'arbre qui met les écrous en mouvement et provoque le serrage des mâchoires M; ces dernières étant disposées de manière à saisir latéralement les rails, excercent un frottement qu'il est facile de calculer pour produire l'arrêt du wagon.

Comme le montrent les figures, les pinces sont guidées dans leur chute par des plaques de garde *h*, *h*; elles sont réunies à leur partie supérieure au

moyen de doubles coins mobiles afin de permettre de procéder facilement au desserrage du frein après son fonctionnement.

Lorsque les wagons arrivent sur les paliers d'extrémités entre les quais, la détente du ressort de traction, déterminée par la suppression de l'effort de traction, provoquerait la chute des freins. Pour obvier à cet inconvénient, nous avons placé le long du châssis du truck un levier L qui, lorsqu'il est relevé, maintient également le frein soulevé. En arrivant sur le palier, ce levier est relevé au moyen d'un galet G qui vient rouler sur une lisse en bois placée à cet effet dans la maçonnerie du quai.

Afin d'obtenir un coefficient de frottement constant, et par suite un serrage uniforme, le fond de la gorge de la poulie motrice, a été exécuté en bronze; de plus, l'une des joues de la poulie est mobile; elle est maintenue pressée contre le rail seulement au moyen de petits ressorts à boudins, de sorte que le serrage du frein s'opère presque uniquement par le frottement de glissement du fond de la gorge sur le rail.

Ce frein a été calculé sur les bases suivantes :

Le poids d'un wagon chargé est de 18.000 kil. environ; l'effort de traction sur un plan incliné de $0^m,165$ par mètre est de :

$$\frac{18.000}{200} + \frac{18.000 \times 16,5}{100} = 3.060 \text{ kil., soit } 3.000 \text{ kil.}$$

Il résulte d'expériences directes qu'un wagon ayant ses quatre roues enrayées ne peut glisser que sur un plan ayant une inclinaison supérieure à $0^m,120$ par mètre. On peut donc admettre que l'action des freins des roues est équivalente à l'effet de $0^m,120$ de pente dans le cas qui nous occupe, et que le frein à pinces

doit agir comme s'il était appliqué seul à un véhicule placé sur une rampe de $0^m,045$.

L'écartement des mâchoires du frein est, au repos, de $0^m,122$; si l'on retranche l'épaisseur du champignon du rail qui est de 0,062, on aura le chemin que les pinces auront à parcourir avant de serrer le rail; ce chemin est de 0,030 de chaque côté du rail. Le chemin correspondant parcouru par l'écrou est en raison inverse des bras de levier, c'est-à-dire $\frac{0^m,030 \times 0^m,390}{0^m,590} = 0^m,020$. Le pas de la vis étant de $0^m,020$, on voit qu'il faudra un tour complet de la poulie avant que les mâchoires soient en contact avec le rail; pendant ce temps, le wagon aura parcouru un chemin égal à la circonférence de la gorge de la poulie, soit :

$$0^m,360 \times 3^m,14 = 1^m,130,$$

et sa vitesse se sera accrue dans la proportion suivante :

La vitesse, au moment de la rupture du câble, est de 2 mètres, suivant le plan incliné; l'enrayage des roues ayant lieu instantanément, le wagon se comporte comme s'il était abandonné sur une pente de 0,045 par mètre, sur laquelle il possède une vitesse de 2 mètres.

Après avoir parcouru la distance de $1^m,130$, sa vitesse sera de :

$$V = \sqrt{2je + V_0^2} = \sqrt{\frac{2 \times 720 \times 9,81 \times 1,13}{18.000} + (2)^2} = 2^m,21 \quad (1)$$

La puissance vive acquise par le wagon au même instant sera de :

$$\frac{18.000 \times (2,21)^2}{2 \times 9,81} = 4.483 \text{ kil.}$$

(1) 720 kil. étant la composante du poids du wagon parallèle au plan incliné de $0^m,045$, moins la résistance au roulement.

Il s'agit de détruire cette puissance vive par le travail du frottement des pinces sur les rails.

Or le poids de l'appareil qui tombe sur chaque rail est de 450 kil.; l'effort tangentiel à la poulie, produit par le frottement, sera de :

$$450 \text{ kil.} \times 0{,}18 = 81 \text{ kil.}$$

le rayon de la gorge de la poulie étant de $0^m{,}180$ et le pas de la vis de $0^m{,}020$, l'effort, suivant l'axe de la vis, sera, en négligeant les frottements de la vis dans l'écrou :

$$\frac{81 \times 2 \times 3{,}14 \times 0^m{,}180}{0^m{,}020} = 4.578 \text{ kil.},$$

qui, reporté à l'extrémité des mâchoires, devient :

$$\frac{4.578 \text{ kil.} \times 0^m{,}390}{0^m{,}590} = 3.026 \text{ kil.};$$

cette pression produira, suivant l'axe du rail, une résistance sensiblement constante de :

$$3.026 \times 0{,}25 = 756^k{,}5,$$

et pour les deux appareils :

1.513 kil., soit 1.500 kil.;

le chemin que le wagon parcourra depuis le serrage des freins à pinces jusqu'au moment de son arrêt complet, sera donc, en ayant égard au travail de la pesanteur diminué de celui du frottement, égal à

$$\frac{4.483}{1.500 - 18.000 \cdot 0{,}045} = 6^m{,}50.$$

L'arrêt dans cet espace, pour une vitesse normale de 2 mètres, sera très-doux, et les voyageurs ne ressentiront aucun choc ; on pourrait d'ailleurs l'atténuer beaucoup en graissant la gorge de la poulie motrice; dans ce cas, la pression des mâchoires serait réduite dans la proportion des deux coefficients de frottement,

c'est-à-dire de 0,07 à 0,18, et l'arrêt se ferait en $16^m{,}70$ environ.

Nous n'avons à nous occuper que du cas de la rupture à la descente. A la remonte, en effet, le wagon parcourra, en vertu de sa puissance vive, un certain chemin qui, pour une vitesse de 2 mètres, sera d'environ 1,30. Pendant cette période, la poulie embrayée sur le rail tournera dans le sens qui tend à desserrer les mâchoires, et par conséquent à les écarter du rail; puis la vitesse changeant de signe, lorsque les pinces seront revenues à leur écartement normal, le wagon aura une vitesse moindre que 2 mètres; il sera par conséquent, au point de vue de l'arrêt, dans des conditions plus favorables qu'à la descente.

Le frein que nous venons de décrire peut être mû à la main par le conducteur du train. Au moyen d'une vis placée à sa portée, cet employé peut agir directement sur la came qui maintient le frein relevé et provoquer la chute de l'appareil.

Le train se composant de plusieurs wagons, il était nécessaire, pour compléter le système, d'assurer la chute des freins de tous les wagons par le fonctionnement du premier frein. A cet effet, une tige spéciale est placée sur chaque wagon et attelée avec la tige correspondante du wagon suivant. Le premier frein, en tombant, exerce une traction sur la tige du second wagon, et ainsi de suite. On voit, de plus, que ce système d'attelage répond à tous les accidents imaginables; ainsi si les wagons se séparent au delà de la limite permise par l'attelage principal, ce qui arriverait par exemple dans le cas de la rupture de cet attelage, les freins de tous les wagons abandonnés tombent par le fait même de cette rupture.

REVUE DE GÉOLOGIE

POUR L'ANNÉE 1860.

Par MM. DELESSE et LAUGEL,
ingénieurs des mines.

(SUITE.)

III. TERRAINS.

Paléontologie.

M. Paul Gervais a publié une deuxième édition de sa *Paléontologie française des animaux vertébrés* (1).

Une réunion de paléontologistes s'occupe de continuer la *Paléontologie française*, ouvrage que M. d'Orbigny a laissé inachevé.

La première livraison, écrite par M. Cotteau (2), commence le deuxième volume consacré à l'étude des échinides irréguliers du terrain crétacé qui était restée incomplète. M. Cotteau modifie les bases de la classification admise par d'Orbigny; il divise les échinides irréguliers, en se fondant principalement sur les caractères des ambulacres et la forme des pores, en : spatangidées, échinocoridées, collyritidées, cassidulidées, clypéastroïdées, échinonéidées, échinoconidées. Entrant ensuite dans les détails, il décrit les genres discoidea et holectypus qui appartiennent aux échinoconidées.

M. H. G. Bronn (3) a commencé la publication de son ouvrage sur le règne animal qui comprendra les cinq sous-règnes. Le premier volume traite des amorphozoaires, le deuxième des actinozoaires.

---

(1) *Zoologie et Paléontologie françaises.* — Nouvelles recherches sur les animaux vertébrés, par Paul Gervais.

(2) *Paléontologie française* ou *Description des animaux invertébrés fossiles de la France*, continuée par une réunion de paléontologistes, première livraison.

(3) *Die Klassen und Ordnungen des Thier-Reichs;* Heidelberg und Leipzig. 1859-1860.

M. Richard Owen (1) a fait paraître un traité de paléontologie, illustré d'un grand nombre de figures. Nous y signalerons surtout une classification des reptiles en 12 ordres, que le directeur du British Museum avait déjà fait connaître dans des publications précédentes, ainsi que la partie de l'ouvrage relative aux mammifères, comparativement beaucoup plus étendue que le reste du livre; la compétence spéciale et les découvertes nombreuses de l'auteur donnent à cette portion de l'ouvrage une valeur particulière.

Colonies.

M. Barrande (2) a exposé en détail ses vues sur ce qu'il nomme les colonies dans le bassin silurien de la Bohême, et s'est attaché à démontrer que ce phénomène n'est pas dû à des dislocations stratigraphiques, comme l'a prétendu M. Krejci, professeur à Prague.

Variations des êtres dans la série des terrains.

Dans l'adresse annuelle du président de la Société géologique de Londres, M. John Phillips (3) donne un tableau qui résume la répartition des principaux genres de mollusques dans la série des terrains. Il représente par 1.000 l'ensemble des espèces observées en Angleterre dans chaque terrain et consignées dans le catalogue de M. Morris. Un astérisque est mis à côté des nombres qui, dans chaque classe, correspondent à un maximum; tandis que le signe + indique pour chaque terrain les mollusques qui sont les plus abondants.

TERRAINS.	Crustacés.	Céphalopodes.	Gastéropodes.	Dimiaires.	Monomiaires.	Brachiopodes.	Echinodermes.	Zoophites.
Cambrien et silurien. .	*168	103	110	116	44	+237	64	157
Dévonien.	38	143	140	96	54	+302	54	*167
Carbonifère et permien.	33	126	+178	151	105	173	116	107
Triasique et jurassique.	15	*190	212	+340	126	74	76	55
Crétacé.	53	165	125	+213	*166	80	*163	35
Éocène.	13	16	+578	*277	52	3	28	32

(1) *Palæontology*, by Richard Owen. Edinbourg, 1860.
(2) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 602.
(3) *Geolog. Society*, XVI, p. 14. Anniversary Address of the President. Prof. John Phillips.

Paléophytologie. Flore des terrains Silurien, Devonien et Carbonifère inférieur.

M. le professeur Gœppert (1) a achevé son travail sur la flore des terrains silurien, dévonien et carbonifère inférieur. Il décrit 20 espèces d'algues dans le silurien, 5 algues et une plante terrestre, Sigillaria Hausmanni Gœpp. dans le dévonien inférieur; une plante terrestre, Sagenaria Veltheimiana dans le dévonien moyen; 51 plantes terrestres et 4 algues dans le dévonien supérieur; 45 planches terrestres appartenant aux mêmes familles que celles du dévonien supérieur dans le calcaire carbonifère; 23 espèces dans le kulm, dont 13 appartiennent aussi à la grauwacke, enfin 36 espèces de la grauwacke, dont 7 seulement ont été trouvées dans le carbonifère supérieur. Toutes les parties de la flore du terrain carbonifère inférieur ont une grande affinité entre elles. Le genre Knorria, Sternb., doit être rayé, il représente une forme de Sagenaria ou lepidodendron. Le stigmaria ficoides est un rhizome de sigillaria.

TERRAINS PALÉOZOÏQUES. *Silurien.* Norwége.

M. Tellef Dahll (2) a décrit les terrains paléozoïques du district de Tellmarken en Norwége. Relativement à leur ordre d'ancienneté il les classe de la manière suivante :

Schistes de Tellmarken. — Gneiss granitique et granite. — Terrain silurien. — Terrain dévonien. — Syénite et granite qui lui est associé, porphyre rhombique, porphyre augitique. — Les environs de Nordsjo et d'Hitterdal se prêtent très-bien à l'étude de ces différentes formations; car sur une surface d'environ 50 kilomètres quarrés, tous les membres de cette série sont bien représentés. Ainsi les schistes les plus anciens se trouvent à Skardaafjeld; le gneiss granitique à Maskatfjeld; le terrain silurien et dévonien à Gjerpendal; et enfin la syénite à Narrefjeld.

Schistes de Tellmarken. — Les schistes de Tellmarken sont antésiluriens et représentent les roches stratifiées les plus anciennes. Ils se composent de quartzite, de quartzite schisteux, de micaschite, de plusieurs variétés de schiste amphibolique, de conglomérat, de talcschiste, de quartzite talqueux. Entre Juxebo et Ravaldsjo le schiste amphibolique est fortement imprégné de pyrite de fer, et par conséquent il devient une espèce de fahlbande. Des filons irréguliers d'amphibole rayonné avec du fer titané et de l'apatite verte traversant les schistes

(1) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 187.
(2) *Uber die Geologie Tellmarkens;* Christiana, 1860.

en plusieurs endroits. Près de Mostul, une couche est formée de schiste talqueux avec des cristaux de dolomie; à côté se trouve un marbre blanc grenu n'ayant que quelques pieds de puissance, et il y a aussi un conglomérat quartzeux contenant également des cristaux de dolomie. Entre Sligstul et Aslestad une couche de calcaire micacé et schistoïde est intercalée dans un micaschiste très-quartzeux.

On observe fréquemment des minerais de cuivre dans les schistes, ainsi que du minerai de fer. A Nissedal, notamment, un filon de fer bien réglé présente une puissance de 3 mètres. Il donne du fer oxydulé à sa partie inférieure, du fer oligiste à sa partie supérieure. Il contient du quartz et de la desmine. La roche encaissante du filon est tantôt le schiste amphibolique, tantôt le micaschiste avec un peu d'amphibole.

Quant à la stratification des schistes de Tellmarken elle est parallèle à la surface du contact du gneiss granitique vers laquelle la pente se relève légèrement; c'est seulement à une certaine distance du contact qu'elle s'incline dans différents sens. Sur certains points on observe des plissements dans les couches ou des brouillages complexes. A Bandagslig, les schistes entourent un îlot granitique qu'ils revêtent comme d'un manteau; les schistes sont, en effet, superposés au granite gneissique. D'après M. Tellef Dahll, il faut attribuer ce résultat à ce que ce dernier a fait éruption.

Généralement la limite des schistes avec le gneiss granitique est assez facile à reconnaître; toutefois il faut excepter le cas où il existe beaucoup de filons de granite. Lorsque les schistes sont très-quartzeux on trouve à leur limite une zone de passage qui présente un mélange de schiste avec le gneiss granitique; cette zone contient plus de feldspath que les schistes et plus de quartz que le granite. M. Tellef Dahll a cherché à évaluer l'épaisseur des schistes et il l'a mesurée sur une coupe en tenant compte de leur inclinaison; il a reconnu que cette épaisseur, au minimum de 30.700 pieds, soit de plus de 10 kilomètres.

En résumé, d'après M. Tellef Dahll, c'est à tort que le gneiss a été considéré comme la formation originaire de la Scandinavie. Par cela même qu'il contient des fragments, il a été précédé par d'autres roches qui sont les schistes de Tellmarken. Ces schistes représentent en effet la formation la plus

ancienne; tandis que le gneiss, qui leur est postérieur, a servi de support au terrain silurien. Des divisions nouvelles pourront être faites ultérieurement dans ces schistes; mais ils présentent une épaisseur tellement grande qu'il est bien peu probable qu'on arrive jamais à connaître plus complétement la base sur laquelle ils se sont déposés. Il convient de les désigner sous le nom de schistes de Tellmarken, ou antésiluriens, ou bien encore on peut les appeler avec M. Barrande schistes azoïques.

Gneiss granitique et granite. — Cette formation couvre une très-grande surface. Le gniess granitique se divise souvent en bancs ou en plaques par suite de l'existence de joints parallèles à la schistosité. C'est surtout près de la limite avec les schistes que le gneiss est bien caractérisé et feuilleté. Sa schistosité l'a fait considérer comme une roche sédimentaire, et l'on n'a pas assez remarqué qu'il se relie d'une manière intime au granite.

Le gneiss granitique est toujours formé d'orthose rouge, de mica noir ou brun noirâtre et de quartz grisâtre. Une grande partie du granite présente la même composition minéralogique; cependant dans un grand nombre de points il renferme autant d'oligoclase que d'orthose. Le feldspath est d'ailleurs le minéral dominant des deux roches. Il n'existe aucune limite entre le gneiss granitique et le granite, non plus qu'entre leurs variétés, et M. Tellef Dahll considère l'ensemble de ces roches comme le produit d'une éruption unique qui aurait couvert une immense étendue. A l'appui de son opinion, il observe que le gneiss granitique a enveloppé souvent des fragments anguleux des roches stratifiées voisines. Le schiste est quelquefois en lambeaux si étendus qu'il forme des espèces d'îles dans le granite. Du reste, le granite empâte aussi des fragments de gneiss.

Les deux roches sont fréquemment traversées par des filons de granite et ces derniers peuvent même être cuprifères, surtout vers la limite des schistes. A l'ouest de Ravaldsjo et près de la syénite on observe dans le gneiss granitique quelques filons, des porphyres et des trapps qui sont si répandus dans le terrain silurien. A Fossum il existe un grand nombre de filons de fer oxydulé dans lesquels on trouve du quartz, du grenat brun et vert, de l'épidote, de la pyrite de fer, quelquefois un peu de chaux carbonatée et plus rarement de l'ilvaïte

Ces filons sont exploités depuis 1624, mais leur produit est cependant peu avantageux.

Syénite. — La syénite est formée d'orthose rouge ou gris et d'hornblende. Elle contient quelquefois du quartz. Vers ses limites, elle est bordée par une série de montagnes ayant plus de 2.000 de hauteur, dont le relief se dessine très-nettement. Au nord de Gjoerpen, elle s'élève successivement au-dessus du porphyre augitique auquel succèdent les terrains dévonien et silurien, puis le gneiss granitique et les schistes de Tellemark. Lorsqu'elle est en contact avec les schistes siluriens, comme cela a lieu près de Ravaldsjo, elle leur fait subir un métamorphisme. Ainsi, le schiste calcaire est durci; le calcaire est changé en marbre; le schiste argileux est devenu micacé. De petits cristaux de grenat vert, ayant seulement une ligne de diamètre, se sont même développés en très-grand nombre dans le schiste alunifère. En outre, le quartzite foncé et impur qui forme la première couche du terrain silurien s'est métamorphosé en un quartz blanc, compacte, dont les cavités sont tapissées de cristaux de quartz. Ce métamorphisme diminue d'ailleurs à mesure qu'on s'éloigne du contact de la syénite. Quant aux rapports de la syénite avec les schistes de Tellmarken, ils sont tout différents; car au contact ces schistes ne sont ni plus ni moins métamorphosés qu'ils ne le sont à plusieurs lieues de distance. C'est donc avant l'éruption de la syénite qu'ils ont pris la structure cristalline et qu'ils ont subi les modifications dont ils étaient susceptibles. Au contact de la syénite le gneiss granitique n'a pas éprouvé non plus un métamorphisme sensible. En résumé, la syénite forme une masse aplatie qui s'est répandue par-dessus les diverses roches avec lesquelles elle est en contact; c'est au moins ce que l'on peut constater dans la coupe d'Erse à Gjerpen dans laquelle on reconnaît qu'elle recouvre le terrain silurien. La syénite représente la dernière grande éruption dans le pays et elle en formerait en quelque sorte la clef de voûte; d'après M. Tellef Dahll elle aurait même rempli le grand bassin silurien dont les bords se montrent à Gjerpen et à Ravaldsjo.

Nord de l'Écosse.

Sir Roderick Murchison (1) a montré que dans le nord de l'Écosse des masses de grès et de conglomérat se trouvent

(1) *Geolog. Society*, 1860, 1er août.

placés en stratification discordante sous des roches quartzeuses et calcaires contenant des fossiles du silurien inférieur, et appartiennent par conséquent au terrain cambrien : mais sous ce grès cambrien, et dans une position tout à fait discordante, est un gneiss stratifié; cette roche est la plus ancienne qu'on ait reconnue dans les îles britanniques. L'alphabet géologique, tel qu'il a été appliqué sur les cartes du *Geological survey*, pour les roches cambriennes d'Angleterre, du pays de Galles et d'Irlande, doit donc pour l'Écosse être précédé d'une lettre, correspondant à un autre alphabet que l'alphabet romain et répondant à ce gneiss du nord-ouest de l'Écosse, plus ancien que tout ce qui existe dans le reste du Royaume-Uni.

La direction dominante du gneiss fondamental de la côte nord-ouest de l'Écosse est celle du N.-N.-O. au S.-S.-E., tandis que la direction des quartzites, des calcaires et des couches supérieures, micacées ou gneissiques, est du N.-N.-E. au S.-S.-O. Quant à l'inclinaison du gneiss inférieur, elle est d'ordinaire vers l'ouest, tandis que le roches qui le recouvrent plongent partout vers l'est.

Les relations des terrains sont rendues visibles par une coupe qui en montre la succession dans le nord-ouest de Sutherland et de Ross. On y voit, de bas en haut : 1° le gneiss fondamental; 2° le grès et conglomérat cambrien; 3° la série des couches siluriennes. Le même ordre de succession est indiqué dans une section prise sur le bord méridional de Loch More, et par une section relevée entre Loch Eriboll et Loch Hope.

La zone fossilifère appartenant au silurien inférieur est surmontée, en stratification concordante, par diverses couches cristallines qui se délitent en dalles; il en résulte que celles-ci, qu'on avait auparavant rangées parmi les roches les plus anciennes, doivent, d'après sir Rod. Murchison, être simplement regardées comme des parties du groupe silurien, qui ont été métamorphosées, au point d'être devenues complétement cristallines.

Highlands d'Écosse.

Les observations de sir R. Murchison sur les Highlands ont été contestées par M. Nicol (1). Celui-ci admet la succession du gneiss fondamental ou laurentien, du grès rouge, des quartzites et du calcaire, mais ne reconnaît par la superposition des

(1) *Geol. Society*, 1860, 5 décembre.

micaschistes et des gneiss supérieurs aux couches silurienlies. Il pense que ces roches ont été portées par des dislocations et des failles dans des positions où elles paraissent supérieures au quartzite et au calcaire fossilifère, mais que les gneiss supérieurs ne sont en réalité que des parties du gneiss fondamental.

Irlande. La grauwacke de l'Irlande n'est pas facile à subdiviser; elle représente pourtant le terrain silurien sur une très-vaste échelle. La couleur de la roche est ordinairement grise, dans le nord de l'Irlande, tant dans les ardoises que dans les grès qui les séparent. Dans le sud, les grès sont verdâtres ou bruns, les ardoises grises, vertes, rouges ou violettes. Toutes ces variétés y alternent à plusieurs reprises. En fait, les roches de la grauwacke n'ont pas de type constant; le district de Tyrone ressemble peu à celui de Galway; ceux de Kildare et de Dublin, sont encore différents. M. Kelly (1) a décrit successivement les districts de Tyrone, de Galway et Mayo, de Kildare et Dublin, de Wexford, Waterford et Dingle. En essayant d'appliquer aux roches siluriennes de son pays les principes de classification de sir R. Murchison, ce géologue prétend avoir été arrêté par d'insurmontables difficultés: « Jamais, dit-il, je n'ai pu faire concorder la table en sept colonnes, correspondant à sept zones fossilifères, telles qu'elle se trouve dans le *Silurian system*, avec ce que j'ai observé dans les districts fossilifères de l'Irlande. La même observation s'applique à la table corrigée de la dernière édition de la *Siluria*. »

M. Kelly cherche à montrer que les synchronismes que sir R. Murchison a essayé d'établir entre les couches du district situé entre Coalbrookdale et Aymestry et les couches irlandaises ne sont pas fondés. En plaçant les fossiles de Tyrone dans la colonne de Caradoc, avec ceux de Kildare, de Dublin, de Waterford, de Wexford, en rangeant Galway dans la zone de Llandovery et Kerry dans celle de Wenlock, toute la succession des couches irlandaises est, suivant lui, mise en confusion. Il n'existe pas en Irlande une succession de bandes calcaires et schisteuses pareilles à celles de Wenloch, Ludlow et Aymestry. Les groupes occidentaux du sud du pays de Galles, et celui de Llandovery, ressemblent davantage aux districts fossilifères de l'Irlande. Les mêmes observations s'appliquent au nord du pays de Galles, à l'Écosse, au Westmoreland et sans doute à l'Amérique.

(1) *The natural History Review*, London, 1860; 445.

Les fossiles de Tyrone sont ceux du silurien inférieur de sir R. Murchison, et pourtant M. Kelly identifie le brownstone de Tyrone avec le vieux grès rouge attendu qu'il couvre stratigraphiquement la partie supérieure de la grauwacke fossilifère, à Lisbellaw et Pomeroy.

Le mémoire est accompagné d'une table qui montre la distribution des fossiles siluriens d'après les travaux de Murchison, de Phillips, de Sedgwick, et pour l'Irlande, de M. M'Coy. On y voit qu'un grand nombre de fossiles du silurien supérieur de Murchison se trouvent dans la zone inférieure de Phillips. De même en comparant les fossiles du *Silurian system* avec les cinq colonnes du silurien irlandais de M. M'Coy, on voit beaucoup d'espèces du silurien supérieur de Murchison transportées dans les zones inférieures de M. M'Coy. Les couches de Dudley ont été rangées par Murchison dans le silurien supérieur, et pourtant parmi les 122 espèces connues dans cette localité, 82 sont propres au silurien supérieur et 40 au silurien inférieur; mais ce résultat singulier n'a pu être constaté qu'à la suite des découvertes les plus récentes, et l'auteur de *Siluria* ne pouvait le prévoir au moment où il a fixé la place géologique des couches de Dudley.

Espagne. M. Casiano de Prado (1) a écrit un mémoire pour démontrer l'existence de la faune primordiale dans la chaîne Cantabrique; il y a joint la description des fossiles, par MM. de Verneuil et Barrande, accompagnée de planches.

Orne. M. Michel (2) a présenté une coupe détaillée du terrain silurien aux environ de Domfront et a fait connaître les fossiles qu'il y a découverts.

Brabant. M. Gosselet (3) a donné une coupe des terrains entre Soignies et Buisingher et annoncé la découverte de fossiles siluriens près de Gembloux en Brabant.

Amérique. MM. F. H. Bradley et E. Billings (4) ont décrit une nouvelle espèce de trilobite (conocephalites minutus) se trouvant dans le grès de Potsdam.

(1) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860.
(2) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 697.
(3) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 495.
(4) *The American Association, etc*, 1860; 161, 163.

Tennessee. M. Rœmer (1) subdivise de la manière suivante le terrain silurien du Tennessee :

Terrain silurien supérieur.	1	Calcaire gris à concrétions de Hornstein.
	2	Calcaire gris bleuâtre compacte avec Isotelus gigas et autres fossiles du calcaire de Trenton.
Terrain silurien inférieur.	3	Couches calcaires bleu foncé avec Maclurea. — 400 à 500 pieds.

La faune décrite par l'auteur rappelle beaucoup celle de l'Angleterre et de la Scandinavie, elle n'a presque rien de commun avec celle de la Bohême; il y a seulement 2 à 3 trilobites bohémiens dans les listes de M. Rœmer. Ces listes comprennent en tout 58 espèces, dont 22 ont été déjà signalées dans l'État de New-York (groupe du Niagara) et 28 en Angleterre (formation de Wenlock) ou dans le silurien supérieur de Gotland sur l'île Malmö, près Christiania.

Dévonien. Écosse. Le district de Lesmahago, décrit par M. Archibald Geikie (2), est formé par le terrain silurien supérieur, le vieux grès rouge inférieur, et le terrain carbonifère.

Le terrain silurien est formé par des schistes et des grès en dalles : les couches forment un axe anticlinal dirigé du N.-E. au S.-O., parallèlement à la direction générale qu'on observe dans la contrée.

Les couches siluriennes passent, en stratification concordante, à une série de schistes rouges, de grès et de conglomérats: ce premier groupe sert lui-même de passage à une série supérieure de grès très-épais et de conglomérats. Cette masse a dans son épaisseur totale plusieurs milliers de pieds; elle représente la portion inférieure et peut-être une partie de la portion moyenne du vieux grès rouge.

Les grès siluriens et le vieux grès rouge sont traversés par des dykes de porphyre feldspathique souvent très-épais, qui jamais ne coupent le terrain carbonifère. Ces dykes ont même fourni des matériaux au conglomérat placé à la base de ce dernier terrain qui repose, en stratification transgressive, sur les couches des terrains précédents. Dans toute l'Écosse centrale les bancs supérieurs du vieux grès rouge ou bancs à

(1) *La Faune silurienne du Tennessee occidental*, par F. Rœmer. Monographie paléontologique, grand in-4. Breslau, 1860.

(2) *Sur le vieux grès rouge de l'Écosse*, par Archibald Geikie. (*Geolog. Society*, vol. XVI, août 1860.)

Holoptychius (le docteur Fleming en a trouvé des écailles à à Siccar Point et M. Stevenson près de Dunse) passent par degrés insensibles au carbonifère inférieur. Les deux formations forment un tout lithologique, et la limite ne peut en être tracée qu'assez arbitrairement. Mais toutes deux se séparent nettement des grès couleur chocolat de Lanark et d'Ayrshire, par les caractères minéralogiques, stratigraphiques et paléontologiques. Cette série passe elle-même par le bas au silurien inférieur, avec lequel elle forme un seul tout. En résumé, le silurien supérieur et le vieux grès rouge inférieur du sud de l'Écosse d'une part, le grès rouge supérieur et le terrain carbonifère de l'autre, forment deux groupes qui sont séparés par une discordance de stratification bien marquée. Le mémoire de M. Geikie est accompagné d'une carte géologique du district de Lesmahago et de plusieurs coupes.

Basse-Loire. D'après M. Bureau (1), le terrain dévonien de la Basse-Loire se diviserait en trois étages distincts : il en présente une coupe prise entre Pierre-Meulière, près Ancenis, et Teillé (Loire-Inférieure).

Visé. M. Ch. Horion (2) cherche à établir que le calcaire dévonien existe sur la rive droite de la Meuse et sur la rive gauche de la Berwine à Visé ; qu'il peut se diviser en deux étages, l'inférieur, représentant le calcaire de l'Eifel ou de Givet, le supérieur représentant le calcaire à Terebratula cuboïdes, sans interposition du schiste à goniatites; enfin qu'il y a superposition directe du calcaire carbonifère au dévonien, sans interposition des schistes dits de Famennes à Spirifer Verneuilli.

Belgique. M. Dumont a subdivisé le terrain eifélien de la manière suivante :

Etage calcareux.	Calcaire, dolomie.	E^3
Etage quartzo-schisteux.	Schiste gris fossilifère, calschiste et calcaire argileux, oligiste oolitique.	E_2
	Poudingue, psammite et schiste rouges.	E_1

Dans la région de Couvin et de Chimay, on observe une répétition des étages E_2 et E_3, schiste gris fossilifère et calcaire eifélien. Par suite de cette répétition, M. Rœmer a été porté

(1) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 789.

(2) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 58.

en 1850 à reconnaître, au lieu de 3 groupes E_1, E_2 et E_3, 4 groupes qu'il a définis ainsi, du haut en bas :

Calcaire à stringocéphales.
Schistes à calcéoles.
Calcaire à calcéoles.
Grauwacke ancienne du Rhin et du Harz correspondant à E_1 et à une partie de E_2.

M. de Koninck considère également les deux bandes de calcaire eifélien comme indépendantes, et caractérisées l'une par les stringocéphales, l'autre par les calcéoles.

En 1855, M. Rœmer établit la coupe suivante :

1° Calcaire de Paffrath;
2° Schiste à calcéoles;
3° Calcaire à calcéoles;
4° Grés et schistes à spirifer cultrijugatus, rapportés à la grauwacke ancienne du Rhin.

En 1860, M. Gosselet a indiqué une série semblable.

M. Dewalque (1) admet, comme MM. de Koninck, Rœmer et Gosselet, la distinction entre le calcaire à calcéoles et le calcaire à stringocéphales ou de Givet, qui reste le type du calcaire eifélien, mais il ne pense pas que le calcaire à calcéoles soit une ligne de démarcation entre les schistes à spirifer cultrijugatus et les schistes à calcéoles : ce ne serait, d'après lui, qu'un accident, un amas lenticulaire dans la formation schisteuse. Il croit donc convenable de conserver la division de l'étage eifélien inférieur en deux étages, le plus bas formé par le poudingue de Burnot, le plus haut par le schiste gris fossilifère, dans lequel rentrerait comme partie subordonnée le calcaire à calcéoles.

M. Dewalque examine ensuite quelle doit être la limite supérieure de l'étage E_3 ou calcaire de Givet à stringocéphales, limite qui doit servir de démarcation entre le dévonien moyen et le dévonien supérieur.

Au-dessus de l'eifélien, M. Dumont avait placé le condrusien, subdivisé ainsi du haut en bas :

(1) *Sur la constitution du système eifélien dans le bassin anthracifère du Condros*, par M. G. Dewalque, membre de l'Académie royale de Belgique

Etage calcareux	Calcaire à crinoïdes, dolomie, calcaire à productus, silex anthracite	C^3
Etage quartzo-schisteux.	Psammite grisâtre, macigno, anthracite	C^2
	Schiste grisâtre, calschiste, calcaire, oligiste oolitique	C_1

M. Rœmer indique au-dessus du calcaire eifélien, de bas en haut : 1° le schiste et calcaire à Terebratula cuboïdes; 2° le calcaire, schiste et psammite à Terebretula Verneuilli.

Ces subdivisions rentrent dans l'étage C de Dumont, ainsi que les divisions paléontologiques données par M. de Koninck et Gosselet. M. Dewalque retire de l'étage calcareux inférieur ou eifélien les couches schisto-calcaires qui forment la transition à l'étage quartzo-schisteux supérieur ou condrusien, pour les faire rentrer dans le condrusien dont elles possèdent les principaux fossiles. Ces couches sont ainsi rattachées, non plus au calcaire de Givet, mais aux schistes de Famenne.

Carbonifère. Centre de la France.

Une notice de M. Manigler (1) comprend l'étude stratigraphique du terrain houiller du bassin de Blanzy et du Creuzot. L'auteur indique cinq systèmes qui ont contribué à donner à la contrée son relief actuel : premier système orienté sur O. 35° S. et E. 35° S. Deuxième système, entre les assises houillères et le permien, sans direction bien exactement indiquée. Troisième système orienté sur O. 20° S. et E. 20° N. entre l'assise supérieure permienne et les grès blancs qui séparent cette assise des grès rouges. Quatrième système de la Côte-d'Or, orienté sur O. 40° S. et E. 40° N. Cinquième système du Ténare (N. 25° N. et S. 25° E.).

Le mémoire est accompagné d'une carte géologique et de nombreuses coupes indiquant la disposition des couches de houille.

Bassin de Saint-Etienne.

A la suite de deux mémoires publiés par M. Leseure (2) sur le bassin houiller de Saint-Étienne, M. J. Fournet (3) a présenté diverses considérations sur les terrains houillers.

Plateau central.

M. J. Dorlhac (4) a présenté des considérations sur la distribution des bassins houillers dans le plateau central. Ces bassins, qui se trouvent généralement vers les bords extérieurs

(1) *Notes sur le bassin houiller du centre de la France*, par M. Manigler.
(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1860, VI, 5.
(3) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, mars 1859 et juillet 1860.
(4) *Mémoires de l'Académie impériale de Lyon*, classe des sciences, IX, 17.

du plateau, paraissent correspondre à d'anciens rivages de la mer carbonifère; mais pour la partie occidentale, il y a une interruption et plusieurs lambeaux de terrain houiller sont alignés suivant une direction N. 15° E. Ils s'observent sur une longueur de 160 kil. à Pleaux, Mauriac, Bort, Pontaumur, Saint-Gervais, Saint-Éloi, le Montet, Noyons, Fins et Decize. Bien qu'isolés aujourd'hui, ils ont sans doute été réunis et ils semblent indiquer la trace d'une vallée houillère qui traversait le plateau central dans la direction indiquée. M. Dorlhac pense en outre que les trois dépôts houillers de Brassac, de Fressanges et de Langeac qui sont isolés au milieu du plateau central appartenaient aussi à une même vallée houillère qui s'étendait de l'Alognon à Lavaudieu. La lacune qui existe entre la Senouire et Longeac est attribuée à un bouleversement postérieur au dépôt houiller qui aurait causé une solution de continuité sur une longueur de 18 kil. La trace de dislocations violentes se retrouve d'ailleurs à Langeac, à Lugeac, à Lamothe et en général dans la partie est où le gneiss a été renversé par-dessus le terrain houiller. M. Dorlhac admet même que cette vallée houillère se réunissait à la vallée occidentale, et qu'entre Brassac et Moulins il peut exister des lambeaux de terrain houiller qui sont cachés par la grande épaisseur du terrain tertiaire.

Westphalie. M. R. Ludwig (1) a fait la découverte de mollusques d'eau douce dans les terrains carbonifères de la Westphalie. Les couches fondamentales de ces terrains sont d'origines marine, néanmoins une bivalve d'eau douce (anodonta minima, R. L.) se trouve déjà dans les couches du Blackband (minerai de fer carbonaté argileux) de Mühlheim. Les étages inférieurs du terrain houiller proprement dit renferment des individus de Cyrena (Cyclas) rostrata, R. L., et les étages moyens des unio securiformis, R. L.; anodonta lucida, R. L., et dreissena Feldmanni, R. L. La première et la dernière de ces trois espèces, associées à la cypris incisa, R. L., se retrouvent également dans l'étage supérieur d'Altenessen. Les horizons les plus élevés enfin sont caractérisés par la présence de l'anodonta procera, R. L., et de la dreissena laciniata, R. L. Dans tous les individus, en partie d'une conservation parfaite, le test a été remplacé par une couche de spath calcaire, çà et là à enduit pyriteux.

(1) *Mollusques d'eau douce dans les terrains carbonifères de Westphalie.*

Saxe. M. le docteur Völger a proposé pour les bassins houillers de l'Erzgebirge, une division nouvelle qui n'est pas d'accord avec celle qui a été adoptée jusqu'ici. D'après M. Völger il conviendrait de distinguer cinq bassins houillers; mais l'un des auteurs de la belle carte géologique de la Saxe, M. Naumann, a montré que cela n'est pas possible: 1° La division proposée ne diffère de la sienne qu'en ce que le bassin houiller de l'Erzgebirge proprement dit est partagé en deux, celui de Chemnitz et celui de la Mulde, et en ce que, par une association contre nature, la moitié ouest de son bassin d'Ébersdorf est réunie au bassin de Chemnitz. 2° La position des couches, contrairement à l'opinion de M. Völger n'est nullement en relation visible avec le partage des cours d'eau. Tout au plus cela aurait-il lieu pour le bassin de Flöha et pour l'extrémité sud-ouest de celui de la Mulde. 3° Les changements survenus dans la position originaire des couches sont antérieurs au dépôt du Rothliegende pour la formation houillère ancienne, et même pour la plus grande partie de celle qui est la plus récente. Aussi n'est-il pas possible de conclure avec sûreté quelle est la position des couches du terrain houiller, d'après celle du Rothliegende. En résumé, M. Naumann observe qu'il y a toujours lieu de distinguer en Saxe deux formations houillères, l'une ancienne, l'autre plus récente; la première se trouve dans les bassins de Hainichen et d'Ébersdorf; la deuxième dans le bassin de l'Erzgebirge et dans le petit bassin de Flöha qui lui est contigu. Les divisions qu'il pourrait y avoir convenance à établir dans le bassin de l'Erzgebirge ne sauraient d'ailleurs être basées sur de simples considérations topographiques.

Russie. M. Guillemin (1), à la suite d'explorations faites dans la Russie d'Europe, a déterminé les emplacements dans lesquels il convenait de faire les grands sondages, destinés à la recherche de la houille ou de l'anthracite à partir de la ligne de chemin de fer de Théodosie à Moscou.

Dans le gouvernement de Wladimir, les couches du calcaire carbonifère sont horizontales. Le terrain jurassique repose immédiatement sur ces couches à Jelatma et Kasimowo, et il est inutile de rechercher le terrain permien dans cette région. On

(1) *Berg Hütten. Zeit.*, 1860; 193 et 477.
(2) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 232. — Exploration minéralogique dans la Russie.

ne le rencontre qu'à l'est de Welikowo, à une certaine profondeur, caractérisé par Terebratula Rossii et Ter. pectinifera; il est formé de couches calcaires surmontées, près de Murono, de marnes rouges et vertes et de schistes ferrugineux contenant une grande quantité de restes organiques, Ostrea, Mytilus Pallasii, Arca Kingiana, etc... M. Pander (1) pense qu'en fonçant des puits dans ce terrain permien, on aurait chance de rencontrer au-dessous des couches de houille.

MM. J. Auerbach et H. Trautschold (2) ont décrit avec de nombreux détails le bassin houiller du gouvernement de Tula; la houille y est principalement formée de stigmaria, associées cependant à des sagenaria, lepidodendron, cardiocarpon, etc. D'après ces deux géologues, la formation houillère russe, formée de sables, de grès, de schistes, de charbon et de couches calcaires est assez puissante, mais les couches de houille ne sont pas bien constantes et sont réparties dans plusieurs bassins; sur les îles plates du terrain dévonien s'élevèrent les premières forêts carbonifères, tandis que dans les mers qui les séparaient se déposait le calcaire carbonifère, contenant dans la partie inférieure le productus giganteus, dans la partie supérieure le spirifer mosquensis et les fusulines. Des oscillations et des changements de niveau déplacèrent plusieurs fois les limites des forêts à Stigmaria. D'après l'opinion des auteurs, les couches de houille seraient donc contemporaines du calcaire carbonifère.

La houille du centre de la Russie est très-terreuse (0,60 à 0,86 de cendres); pourtant il y a des parties plus riches qui ne contiennent que de 0,09 à 0,30 de cendres. La houille terreuse n'est pas propre à beaucoup d'emplois, pourtant sa légèreté et son bon marché la rendent dans certains cas fort avantageuse : elle est d'une extraction très-facile et se trouve très-près du sol.

Amérique du Nord.

M. C. H. Hitchcock (3) a cherché, d'après ses observations

(1) *Archiv für wissenschaftliche Kunde von Russland. Erman*, 1860; 441. Sur la possibilité de trouver la formation houillère proprement dite sous les couches permiennes, sur le bord oriental du bassin de calcaire carbonifère de la Russie moyenne, par M. Ch. Pander.

(2) *Sur la houille de la Russie centrale*, par J. Auerbach et Trautschold. (*Nouveaux mémoires de la Société impériale d'histoire naturelle de Moscou*, in-4; XII, 1-58, planches 1-3.)

(3) *The American Association*, 1860; 138.

et celles de M. Lesquereux, à comparer la flore des bassins houillers de la Nouvelle-Angleterre à celle des bassins de l'ouest des États-Unis.

M. Rœmer (1) a adopté la division suivante dans le terrain carbonifère du Tennessee, en allant du haut en bas : Tennessee.

Conglomérat siliceux (coal measures);

Grès calcaire oolitique, 1.200 pieds;

Calcaire siliceux à productus et spirifer;

Schistes alunifères noirs et pyriteux.

Un sondage pour recherche de houille a été entrepris à Rothemberg, près Versen, par l'administration des mines de Prusse (2). La coupe des terrains traversés est à peu près la suivante : Zechstein.

	mètres.		mètres.
Grès bigarré	246	Anhydrite	9
Zechstein	31	Zechstein	4
Gypse	29	Anhydrite	39
Zechstein	8	Zechstein	9
Anhydrite	16	Schiste cuivreux	1,3
Zechstein	10	Grès houiller	»

Le terrain permien se retrouve en ce point avec le schiste cuivreux; mais il présente des caractères spéciaux et la grande abondance de l'anhydrite mérite d'y être signalée.

TERRAINS MESOZOÏQUES. *Triasique.* Microlestes.

On a trouvé dans un conglomérat qui occupe une fissure du calcaire carbonifère de Frome (Somersetshire) trois petites vertèbres, associées à des dents d'un petit mammifère voisin du microlestes de Plieninger. D'après M. Owen (3), ces vertèbres correspondent par la taille au microlestes, mais elles rappellent plutôt les reptiles que les mammifères par leur forme biconcave; il faut ajouter cependant que ces vertèbres ont quelque analogie avec celles des mammifères par leurs arcs neuraux, grands et ankylosés.

Strassfurtt

M. Tasche (4) a décrit le terrain salifère de Strassfurtt, que des sondages récents ont fait connaître d'une manière

(1) *Die Silurische Fauna des Western Tennessee.*

(2) *Revue universelle des mines, etc.*, VII, 242. Bassin houiller d'Ibbenbüren, par M. Al. Cambresy.

(3) *Geolog. Society*, 13 juin 1860.

(4) Tasche. *Bilder auf der Reise zur Naturforschersammlung in Königsberg, in Herbst*, 1860; 173.

plus complète. Un sondage exécuté dans la saline de Strassfurtt a donné les résultats suivants :

	Épaisseur (1).
Remblais	20,0
Sable grossier transporté	6,0
Argile schisteuse rouge foncé avec mica appartenant au grès bigarré ; elle devient plus dure vers le bas	143,5
Calcaire gris avec (Roggenstein)	2,1
Argile schisteuse rouge avec grès rougeâtre et calcaire	136,0
Grès rougeâtre et calcaire gris	7,2
Grès rougeâtre et argile schisteuse rouge	56,7
Argile schisteuse bleue avec couches de calcaire	23,5
Argile schisteuse rouge et bleue avec couches de calcaire et de grès	151,0
Gypse avec anhydrite et argile schisteuse rouge foncé	3,0
Anhydrite gris bleuâtre avec gypse (Fraueneis) et anhydrite rayonnée. Cette couche est bien remarquable par sa grande épaisseur, et jusqu'à présent on n'en a pas encore rencontré d'aussi puissante dans d'autres gisements	213,0
Marne noire grisâtre avec traces de sel, calcaire, marne avec gypse et Fraueneis	28,0
Divers sels de magnésie, le plus souvent de couleur rougeâtre avec couches de sel d'une petite épaisseur, qui sont en outre accompagnées de gypse	199,0
Sel gemme pur avec quelques veines de gypse dans lequel le sondage s'est arrêté; on en a traversé	826,9
Épaisseur totale	1.851,0

Un sondage fait un peu plus loin, à Silberflur, sur le territoire d'Anhalt, a donné des résultats à peu près semblables; mais le sel gemme paraît se trouver à 372 pieds plus haut qu'à Strassfurtt. Il résulte de ces coupes que le sel gemme des environs de Strassfurtt. est intercalé dans le grès bigarré qui repose vraisemblablement sur le Zechstein.

La limite précise entre le keuper et le lias est encore indécise. M. Credner (2) l'a recherché dans le nord de l'Allemagne.

Jurassique. Limite inférieure du lias dans le Nord de l'Allemagne.

La série des couches du Seeberg indiquée par ce géologue est la suivante du haut en bas :

1° Grès marneux à Ammonites angulatus et Lima Hausmanni;
2° Argile et grès quartzeux à Thalassites depressus, Pecten disparilis, Lima Hausmanni;
3° Marne argileuse;

(1) Les épaisseurs sont données en pieds du Rhin.

(2) *Sur la limite entre le keuper et le lias au Seeberg près de Gotha et en général dans le nord de l'Allemagne*, par M. Credner (*N. Jahrb. v. Leonhard*), 1860; 293.

Marne schisteuse à Modiola minuta, Cardium Rhœticum, Tœniodon Ewaldi;
Grès marneux à Equisetum;
Argile;
4° Grès quartzeux à Cardium cloacinum, Tœniodon Ewaldi.
Schiste sableux;
Grès quartzeux à Anodonta postera;
5° Marne du keuper.

D'après Oppel, les n° 3 et n° 4 représentent le groupe du bone-bed. M. Credner croit aussi que les couches sableuses n° 4 rapportées par Alberti au grès liasique répondent au grès de cette couche. Les lits argilo-sableux n° 3 correspondent aux couches argileuses de la partie supérieure du bone-bed. L'avicula contorta, caractéristique de ce niveau, ne se trouve pas, il est vrai, au Seeberg, mais on la rencontre dans les couches synchroniques de Krauthausen, près Eisenach.

Le grès quartzeux et l'argile qui forment le n° 2 répondent aux couches caractérisées ordinairement par l'ammonites planorbis (amm. psilonotus Quens.), bien que cette coquille ne se trouve pas au Seeberg.

Les couches n° 1 sont équivalentes aux lits ordinaires à amm. angulatus.

M. Credner compare ensuite le grès du Seeberg (n° 4) aux couches synchroniques de quelques autres pays, d'Eisenach, de Coburg et Culmbach, de Göttingen, de la région située au nord du Harz: dans le nord-est de la Franconie il est caractérisé par des débris végétaux et l'anodonta postera, près de Göttingen, le grès du bone-bed est sans fossiles, l'argile supérieure contient de nombreuses petites bivalves, notamment tœniodon Ewaldi, tœniodon ellipticus, et cardium Philippianum : au nord du Harz, le grès contient des débris végétaux et l'anodonta postera.

L'argile à tœniodon Ewaldi, tœniodon ellipticus, associés parfois à l'avicula contorta, cardium rhæticum, cardium philippianum, posidonomya Hausmanni et modiola minuta, ainsi que les grès inférieurs à anondonta postera et à débris d'équisétacées, représentent le bone-bed qui, suivant MM. Oppel et Winkler, doit être mis au sommet du keuper. La limite entre le keuper et le lias demeure indécise suivant M. Credner, parce que les restes organiques trouvées dans les couches du bone-bed allemand sont encore trop peu nombreuses; la li-

mite du bone-bed et des marnes du keuper est bien marquée, mais elle est difficile à saisir entre le bone-bed et les couches à amm. psilonotus.

La limite entre le keuper et le lias a également fourni le sujet d'un mémoire à M. Schlönbach (1). Voici ses conclusions: 1° sous le lias inférieur à Ammon. psilonotus, se trouve dans les environs de Salzgitter une argile brun rouge et grise, sans fossiles, qui n'appartient plus au lias et répond au *bone-bed* supérieur; 2° ces argiles recouvrent des grès très-épais, qui ont tantôt été rapportés au lias, tantôt au keuper. Dans les couches supérieures, un peu schisteuses et très-bien réglées, se trouvent beaucoup d'empreintes végétales de cycadées, de fougères, d'équisétacées, de calamites arenaceus; au-dessous sont des grès exploités, avec couches subordonnées d'argile; au-dessous encore des argiles foncées, grises ordinairement, qui alternent avec des couches de grès, peu compacte, et renferment dans leur partie inférieure le vrai *bone-bed* reposant immédiatement sur les marnes du keuper ou séparées seulement de ces marnes par une mince couche de grès. Les dents fossiles de ce *bone-bed* ont été déterminées par M. Plieninger (2); elles appartiennent aux genres Microlestes, Trichodus, Xystrodus, Acrodus, Ceratodus, Saurichtys, Hybodus, Desmacanthus.

Sud de l'Angleterre.

D'après les observations de M. Wright (3), les lits à avicula contorta, qui servent de base au lias, contiennent une faune d'un caractère spécial; plusieurs des conchifères y sont identiques à des espèces trouvées seulement dans les couches de Saint-Cassian et de Kössen. Ces couches remarquables ont été rangées par certains observateurs dans le trias, par d'autres dans le lias; la différence d'opinion parmi les géologues tient à ce que la majorité des espèces a un facies triasique, tandis que quelques-unes seulement passent dans le lias.

En Angleterre, au contraire, en fixant la place des lits à Avicula contorta, on s'est guidé surtout par des caractères lithologiques, bien qu'en s'appuyant aussi sur les fossiles que l'on a considérés comme liasiques. Sir Philip Egerton et Agassiz

(1) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1860; 511.

(2) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1860: 694.

(3) *Sur la zone de l'Avicula contorta et le Lias du Sud de l'Angleterre*, par Thomas Wright. (*Geolog. Society*, vol. XVI, 1er novembre 1860.)

ont considéré les poissons du bone-bed anglais comme spéciaux à cette brèche, ou comme appartenant à des espèces bien connues du muschelkalk allemand. Le général Portlock, qui a trouvé ces lits dans le nord de l'Irlande, y a reconnu des fossilles du muschelkalk; et Sir Charles Lyell, en se guidant par la faune icthyologique, a placé le bone-bed dans le trias. M. Wright s'attache à démontrer que les conchifères sont spéciaux à cette zone, et qu'aucun ne semble passer dans le véritable lias.

Quelle que soit la place de la zone à Avicula contorta, les couches à Ammonites planorbis qui la surmontent appartiennent certainement au lias; les ammonites y font leur première apparition sous la forme unique de l'Amm. planorbis.

Plus haut viennent les calcaires avec Amm. Bucklandi, contenant un grand nombre des ammonites que de Buch groupait sous le nom d'arietes, A. Conybeari, A. angulatus, etc. Au-dessus, la zone à Amm. Turneri est caractérisée par cette ammonite, et par une abondance de Pentacrinus tuberculatus. Cette zone marque un horizon de sauriens, de même que la partie inférieure de la zone à Amm. planorbis; après, enfin, viennent encore, du bas en haut, la zone de l'Amm. obtusus, formé de calcaire gris argileux, la zone de l'Amm. oxynotus, formée d'argiles foncées, imprégnées de fer, et la zone à Amm. raricostatus, de composition analogue, contenant l'Hippopodium ponderosum, le Gryphæa obliqua, etc. Là se termine le lias inférieur.

Bourgogne. Infra-lias.

M. J. Martin (1) a donné une description de l'infra-lias dans la Côte-d'Or. Il présente d'abord un aperçu stratigraphique des assises liasiques inférieures à la zone de la gryphée arquée.

L'ensemble de ces dépôts est divisé par l'auteur en trois groupes principaux, savoir : l'arkose, la lumachelle et le foie-de-veau.

L'arkose, dépôt essentiellement de transition, comprend un certain nombre de couches, tantôt granitoïdes, arénacées ou gréseuses, plus rarement marneuses, dont les accidents métamorphiques ont fréquemment changé la nature et l'aspect.

(1) *Paléontologie stratigraphique de l'infra-lias du département de la Côte-d'Or*, suivi d'un aperçu paléontologique sur les mêmes assises dans le Rhône, l'Ardèche et l'Isère, par M. Jules Martin. (Mémoire présenté à la Société géologique le 16 mai 1859.)

La lumachelle, déposée sous l'influence de courants rapides et durant une période où les manifestations biologiques paraissent avoir eu une excessive activité, a été fréquemment envahie par des déjections métalliques qui ont profondément imprégné les assises sur de vastes surfaces.

Enfin le foie-de-veau, soumis, dans plusieurs localités, à la même action métamorphique, s'est développé, au contraire, sauf exception, dans un milieu abrité de la vague et des courants où pullulait une faune délicate et variée, dont les dépouilles présentent encore aujourd'hui une étonnante conservation.

M. J. Martin étudie ensuite la paléontologie des trois groupes de l'infra-lias :

1° Arkose. Dans la zone à myophories et à avicules contournées, elle comprend 36 espèces connues, dont 23 sont spéciales à la zone, 12 passent dans la lumachelle et 10 dans le foie-de-veau. Depuis la publication de son mémoire, l'auteur a, du reste, découvert le bone-bed au sommet de la zone à Avicula contorta, et il se propose de le décrire prochainement.

2° Lumachelle ou zone à Ammon. burgundia et à Pecten pollux. Elle renferme 77 espèces; dans ce nombre, 14 sont spéciales à la zone, 12 descendent dans les arkoses et 59 montent dans les assises supérieures.

3° Foie-de-veau, ou zone à Ammonites moreanus d'Orb. Le nombre des espèces est de 176; 58 d'entre elles ont déjà été signalées dans les dépôts inférieurs, 98 paraissent spéciales à la zone et 47 passent dans les calcaires à gryphées.

En résumé, l'auteur divise l'infra-lias en trois zones paléontologiques; il cite leurs espèces caractéristiques et discute leurs limites spécifiques; il parallélise ensuite les zones précitées avec celles qui ont été établies par le docteur Oppel.

La faune de l'infra-lias lui paraît tellement hybride, qu'elle n'a pas encore de place arrêtée dans les classifications; c'est une faune de transition, reliant, en quelque sorte, le lias au keuper. Il propose de faire un sous-étage de cette partie du lias inférieur et de lui maintenir le nom d'infra-lias, depuis longtemps donné à ce dépôt par M. Leymerie et adopté par un assez grand nombre de géologues.

M. J. Martin jette ensuite un coup d'œil sur l'infra-lias du département du Rhône, de l'Ardèche et de l'Isère. La stratigraphie et la faune dans ces diverses régions sont comparées à celles de la Bourgogne.

Considérée dans son ensemble, la faune des localités étudiées par M. Eug. Dumortier comporte 78 espèces, dont 59 sont communes à la Côte-d'Or et 32 au grès infraliasique de la Moselle.

La deuxième partie du mémoire de M. J. Martin est entièrement paléontologique; on y donne la description de 85 espèces inédites.

Lombardie.

Les couches à Avicula contorta ont partout éveillé l'attention des géologues. M. Stoppani (1) les décrit en Lombardie, où elles sont formées principalement de schistes noirs. Il y distingue pourtant deux étages, l'étage supérieur ou dépôt de l'Azzarola, formé d'une alternative de marnes et de calcaires marneux, l'étage inférieur ou groupe des schistes noirs. Comme M. J. Martin, il cherche à faire voir que l'ensemble de ces couches forme un étage géologique particulier qu'il nomme infraliasien; il fait encore rentrer dans cet étage les couches supérieures à Ammonites planorbis et A. angulatus, représentées en Lombardie par des dolomies supérieures à celles du trias.

Un tableau synoptique montre les parallélismes que l'auteur établit entre le dépôt de l'Azzarola et les schistes noirs de Lombardie d'une part, et de l'autre les schistes de Kössen (Hauer, Suess, etc.), les couches supérieures de Saint-Cassian (Escher), le bone-bed d'Axmouth, de Austcliff, de Helmsingen et Lœvelange (Luxembourg) et la zone à Avicula contorta d'Oppel.

Oolite inférieure. Sud de l'Angleterre.

Pour l'oolite inférieure, il faut signaler d'abord un mémoire de M. Wright (2). Cet étage peut se subdiviser de la manière suivante, dans le sud de l'Angleterre, en allant du haut en bas :

1° *Zone à Ammonites Parkinsoni* comprenant :

a. Grès supérieur à Trigonies avec Amm. Parkinsoni, A. Martinsii, etc.
b. Grès à gryphées, banc d'huîtres local, avec Gryphœa sublobata, etc.
c. Grès à Trigonies inférieur.
d. Lit marneux mince avec Chemnitzia procera.

(1) *Essai sur les conditions générales des couches à Avicula contorta*, par l'abbé Antoine Stoppani. — Milan.

(2) *Sur les subdivisions de l'oolite inférieure dans le sud de l'Angleterre*, comparée aux lits équivalents de cette formation sur la côte du Yorkshire, par Thomas Wright. (*Geolog. Society*, 1er février 1860, vol. XVI.)

2° *Zone de l'Ammonites Humphresianus* renfermant :

a. Oolithe à bancs minces, recouvrant une marne endurcie avec Terebratula Phillipsii.
b. Oolithe ferrugineuse.
c. Oolithe ferrugineuse avec nombreuses ammonites, A. Brocchi, A. Humphriesianus, A. Blagdeni, A. Braikenridgii, A. concavus, etc.
d. Oolithe ferrugineuse coquillière avec Pleurotomaria ornata, Pl. fasciata, Pl. punctata, Terebratula perovalis, etc.
e. Oolithe sableuse avec beaucoup de variétés de Ostrea flabelloides, O. sulcifera.

3° *Zone de l'Ammonites Murchisonæ* comprenant :

a. Marne oolithique, lit corallien avec Chemnitzia, Nerinea, Tereb. fimbria, etc.
b. Calcaire oolithique, lits épais, exploités pour pierre à bâtir.
c. Roche ferrugineuse, composée de concrétions aplaties avec Amm. Murchisonæ, etc.
d. Oolithe sableuse ferrugineuse.

Sables du lias supérieur comprenant :

a. Lit à céphalopodes, oolite grossière, brune, ferrugineuse avec Amm. opalinus, A. Jurensis, A. radians, A. insignis, etc.
b. Sables bruns et jaunes.
c. Nodules fossilifères contenant fossiles de *a*.
d. Sables micacés bruns avec couches de grès.
e. Zone fossilifère avec A. Jurensis, A. insignis, A. radians.

Plus bas encore commencent les argiles du lias supérieur, avec A. bifrons, A. serpentinus, etc.

Oolite inférieure. Mâconnais.

En France, M. de Ferry (1) entreprend la monographie paléontologique du bajocien du Mâconnais. La stratigraphie de l'étage est figurée dans la coupe théorique suivante, prise du haut en bas :

Calcaire marneux, blanc jaunâtre à Am. bullatus.
Couche ferrugineuse à débris remaniés.
Petit banc percé par les Lithophages.
Oolithe ferrugineuse à Collyrites ringens.
Petite couche sans fossiles.
Banc marno-sableux à Ter. Philippsii.
Calcaire à polypiers (des dépôts marno-sableux sont déposés sur le calcaire à entroques quand les calcaires à polypiers manquent ou font suite aux calcaires à Pecten personatus, quand le calcaire à entroques fait défaut).
Calcaire à entroques.
Calcaire à Pecten personatus, base de l'oolithe inférieure.
Couche à fucoïdes (Chondrites scoparius).
Lias supérieur.

(1) *Mémoire sur le groupe oolitique inférieur des environs de Mâcon (Saône-et-Loire)*, par M. de Ferry. (1re partie : Etage bajocien.)

Les synchronismes sont établis dans le tableau suivant :

	MACONNAIS.	LYONNAIS.	NORMANDIE.
Fuller's earth.	Couches à Collyrites ringens. Couches à Terebretula Phillipsii.	Ciret.	Oolite de Bayeux.
Bajocien inférieur.	Calcaire à polypiers. Calcaire à entroques. Calcaire à Pecten personatus.	Calcaire à entroques. Couches à Pecten personatus.	Malière.

Oxfordien. Côtes de la Manche.

M. Hébert (1) a donné une coupe détaillée des couches des falaises des côtes du Calvados, et décrit spécialement celles du terrain oxfordien.

Montreuil-Bellay.

La carrière du Chalet, près Montreuil-Bellay, est très-riche en fossiles de l'oxfordien inférieur. MM. Hébert et Eug. Deslongchamps (2) en donnent une description complète, illustrée par des planches. On peut signaler surtout dans leur travail de nombreux gastéropodes nouveaux (plus de 60 espèces, tous découverts dans une couche de quelques millimètres d'épaisseur).

Les genres qui ont fourni le plus d'espèces sont : Rostellaria (5 espèces), Purpurina (5 espèces), Cerithium (12 espèces), Turritella (6 espèces), Trochus (8 espèces), Pleurotomaria (9 espèces).

Nivernais.

M. Ebray (3) a étudié les modifications de l'étage callovien, depuis Nevers jusqu'à Châtel-Censoir, et donné plusieurs coupes détaillées à l'appui de ses opinions.

Il a, en outre, fait connaître la composition des couches jurassiques aux environs de Mâcon, et essayé d'estimer les dénudations qui se sont opérées dans cette contrée (4).

(1) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860 ; 300.
(2) *Mémoire sur les fossiles de Montreuil-Bellay (Maine-et-Loire)*, par M. Hébert et M. Eugène Eudes-Deslongchamps. — Paris, 1860. (Extrait du *Bulletin de la Société linnéenne de Normandie.*)
(3) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860 ; 161.
(4) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860 ; 507.

Kimméridien Montbélliard.

M. Contejean (1) a décrit les environs de Montbéliard, puis successivement, en allant de bas en haut, chacun des dix sous-groupes qui composent l'étage kimméridien dans le littoral nord-ouest du bassin méditerranéen ; il cherche ensuite à établir la légitimité de ses sous-groupes, au point de vue paléontologique : les sous-groupes sont répartis en groupes; la localité de Montbéliard, choisie pour type, montre trois de ces sous-groupes. Des assises kimméridiennes existent dans d'autres localités à un niveau plus élevé; à Porrentruy, dans le Haut-Jura, dans le Jura bisontin et salinois, dans la Haute-Saône, l'Aube, l'Yonne, la Haute-Marne, la Meuse, l'Angleterre; l'auteur cite les fossiles communs aux calcaires portlandiens et à l'étage kimméridien proprement dit et établit un quatrième sous-groupe correspondant au calcaire portlandien des auteurs. Un chapitre est consacré à établir le parallélisme des étages kimméridiens de la localité-type de Montbéliard avec les étages du même terrain dans le bassin méditerranéen, dans ce qu'il nomme le détroit de Dijon, dans le bassin anglo-parisien et dans le bassin pyrénéen.

Jura.

M. Etallon (2) a donné une notice sur les échinides, les polypiers et les spongiaires du Jura supérieur, des environs de Montbéliard. 74 espèces y sont mentionnées et classées stratigraphiquement. Sur ce nombre, quelques espèces nouvelles sont décrites et figurées. Le même auteur a décrit le Jura moyen des environs de Gray (Haute-Saône) (3), a fait paraître une notice sur les stations des polypiers dans le Jura (4), un mémoire sur la classification des spongiaires du haut Jura (5) et une étude sur l'ensemble de la faune corallienne dans la même région (6).

Après tous ces travaux partiels, j'arrive à un travail d'ensemble

Classification des roches du Jura.

Dans une série de lettres adressées au docteur Albert Oppel, M. Marcou (7) a fait une analyse critique de tous les

(1) *Étude sur l'étage kimméridien dans les environs de Montbéliard et dans le Jura, la France et l'Angleterre*, par Ch. Contejean. 1 vol. in-8, accompagné de planches.
(2) *Bull. de la Soc. d'émulation de Montbéliard*, 1860.
(3) *Bull. de la Soc. d'agriculture, d'hist. nat., etc., de Lyon*, 1860.
(4) *Actes de la Soc. jurassienne d'émulation de Porrentruy*, 1860.
(5) *Actes de la Soc. jurassienne d'émulation de Porrentruy*, 1860.
(6) *Arch. des sciences de la bibl. universelle*. Genève, 1860.
(7) *Lettres sur les roches du Jura et leur distribution géographique dans les deux hémisphères*, par Jules Marcou. Deux livraisons, 1857-1860. Paris.

travaux publiés sur le terrain jurassique. Il prend pour type de ce terrain les couches des montagnes du Jura, et propose pour ces couches la classification suivante :

Calcaire de Salins Marnes de Salins	Groupe de Salins.	Oolithe supérieure.
Calcaires du Banné Marnes du Banné	Groupe de Porrentruy.	
Calcaires de Besançon Marnes de Besançon	Groupe de Besançon.	
Oolithe corallienne de Pagnoz Coral Rag de la Chapelle	Groupe corallien.	
Groupe d'Argovie	Oxfordien supérieur.	Etage oxfordien.
Marnes alésiennes Fer de Clucy	Oxfordien inférieur.	
Calcaires de Palente Calcaires de la Citadelle (Besançon) Calcaires de la Porte de Tarragnoz	Groupe du département du Doubs ou Mandubien.	Oolithe inférieure.
Marnes de Plasne Roches de coraux du fort St-André Calcaires de la Roche-Pourrie Fer de la Roche-Pourrie	Groupe du département du Jura ou Lœdonien	
Marnes d'Aresche Marnes de Pinperdu Schistes des Vallières	Lias supérieur.	Lias.
Marnes de Cernans Marnes de Poupet	Lias moyen.	
Marnes du mont Servant Calcaires de Blégny Couches de Montaine	Lias inférieur.	

Le groupe d'Argovie, suivant M. Marcou, existe en Souabe et en Bourgogne, mais n'a pas encore été reconnu dans la Grande-Bretagne; le groupe Kimméridien des « Recherches géologiques sur le Jura salinois » est devenu le groupe de Porrentruy. Pour éviter ici un faux synchronisme le groupe Portlandien a aussi donné place au groupe de Salins : la localité de Suziau, près Salins, a offert à M. Marcou, dans les calcaires de ce groupe, des fossiles formant une faune marine qu'il croit contemporaine de la faune de Purbeck, en Angleterre.

Les premières lettres sont consacrées à la description géologique et paléontologique des couches du Jura franc-comtois. Dans la cinquième lettre, l'auteur cherche à établir le syn-

chronisme entre les strates du Jura franc-comtois et celles de l'Angleterre. La sixième est consacrée au terrain jurassique en France, notamment à une comparaison des couches des monts Jura avec celles des collines de la Haute-Saône, à un essai de synchronisme entre les divisions du Jura franc-comtois et celles du terrain jurassique dans la Côte-d'Or, la Haute-Marne, la Meuse, les Ardennes, la Moselle, le grand-duché de Luxembourg et les Cévennes. Dans les lettres suivantes, on trouve l'analyse critique des travaux publiés sur le terrain jurassique en Portugal, en Espagne, en Lombardie, dans les Alpes de l'Autriche et de la France, en Russie, dans la Sibérie, la Crimée, le Caucase, la Perse, l'Inde, l'Himalaya, l'Afrique du Nord, l'Amérique du Nord, le Pérou, le Chili, le cap Horn, l'Afrique, l'Australie et la Nouvelle-Zélande. L'auteur s'appuie sur les données recueillies à toutes ces sources pour dessiner la Carte du globe à l'époque jurassique. Il y distingue plusieurs provinces, normande, bourguignonne, hispano-alpine, criméo-caucassienne, himalayenne, moscovite, sibérienne, etc.

Sauriens des schistes lithographiques.

Un mémoire de M. Wagner (1) comprend une description complète des sauriens des schistes lithographiques de la Bavière ; ils sont étudiés dans l'ordre suivant : genre Cricosaurus; trois exemplaires de taille différente, dont chacun conserve le crâne et une partie du squelette, sont classés sous les noms de Cricosaurus grandis, elegans, et medius. Genre Pterodactylus; trois espèces, enrychirus, vulturinus, propinquus. Genre Rhanychorynchus; trois espèces, longimanus, curtimanus, et hirundinaceus.

Alpes autrichiennes. Calcaires de Vils.

M. le docteur Oppel (2) a étudié les terrains calcaires de la petite ville de Vils, dans les Alpes autrichiennes. Il y distingue un calcaire rouge et un calcaire blanc ; il assimile le calcaire rouge au klippenkalk, qu'il place dans le Jura supérieur, et considère le calcaire blanc comme formant un niveau intermédiaire entre le klippenkalk et les couches de Klaus (rangées dans l'oolite inférieure).

Le mémoire comprend la description des fossiles de Vils, accompagnée de planches.

Le terrain crétacé n'a été l'objet que de quelques études de détail.

(1) *Abhandlungen der Math. Physik. Classe der K. Bay. Akademie der Wissenchaften*, in-8, 1860 ; 415.
(2) *Würtemb. Naturw. Jahrbesb. Jahrg.*, XVII.

Crétacé. Dorking.

M. Owen (1) a décrit les restes d'un animal fossile, le polyptychodon, découverts dans la craie inférieure à Dorking. Il pense que ce saurien carnivore de la période crétacée habitait la mer, où il était le rival du grand saurien de Maëstricht.

Néocomien à Wissant.

M. Gaudry (2) annonce avoir découvert à Wissant l'Ostrea Leymerii, espèce regardée comme caractéristique du terrain néocomien. Sa note est accompagnée d'une coupe des falaises crétacées de Wissant.

Grès vert inférieur du bassin de la Seine.

M. Cornuel (3) a consacré une notice étendue à l'étude du grès vert inférieur du bassin de la Seine, à sa division d'après les oscillations du sol et les caractères zoologiques et stratigraphiques, enfin à ses rapports avec les diverses parties du groupe Wealdien et du lower green-sand d'Angleterre.

Savoie.

M. Lory (4) a dessiné une coupe de la vallée d'Entremont-le-Vieux (Savoie) à la hauteur du village d'Épernay, et signale dans cette vallée la présence de couches de craie marneuse et blanche, qu'il range dans l'horizon de la craie blanche.

Craie de Maëstricht.

M. Binkhorst van der Binkhorst (5) donne une coupe détaillée de la craie de Maëstricht et des environs, et présente un tableau approximatif de la répartition des genres et des espèces de cette craie dans les différentes classes animales.

Westphalie.

M. de la Mark (6) a décrit quelques vertébrés, des crustacés et des céphalopodes de la craie de Westphalie.

Silésie autrichienne.

M. Hohenegger (7) a présenté à la Société géologique allemande, dans sa séance de juillet, une carte du nord des Carpathes et de la Silésie autrichienne. Il a donné quelques détails sur la position géologique des minerais de fer employés à Teschen. Ces minerais appartiennent à diverses formations, mais notamment au terrain crétacé. La craie s'y subdivise ainsi du haut en bas.

1° Grés des Carpathes (représentent le terrain albien et peut-être aussi le cénomanien);
2° Minerai de fer (avec mélange des fossiles de l'aptien et de l'urgonien);

(1) *Geolog. Society*, 1860; 262.
(2) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 30.
(3) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 736
(4) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 796.
(5) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 61.
(6) *Ueber einige Wirbelthiere, Crustaceen u. Cephalopoden.* Berlin, 1859.
(7) *Zeit. d. d. geol. Ges.*, XII, 1860; 369.

3° Schistes bitumineux avec couche de minerai de fer (faune composée uniquement d'ammonites nombreuses);

4° Calcaires sans fossiles;

5° Schistes gris (avec fossiles du Hils (néocomien) du nord-ouest de l'Allemagne).

TERRAIN CAINOZOÏQUE. *Tertiaire.*

Région entre le Jura et les Alpes.

Les notices relatives aux terrains tertiaires ont été fort nombreuses.

Les terrains tertiaires entre le Jura et les Alpes ont été l'objet d'une étude de M. Benoît (1).

Montagne de Laon.

La montagne de Laon a été décrite avec beaucoup de détail par M. Melleville (2), qui a donné la liste de tous les fossiles qui s'y rencontrent.

Éocène moyen du bassin parisien.

M. Goubert (3) répartit le calcaire grossier en trois séries de couches, dans chacune desquelles on retrouve un ensemble particulier de fossiles.

Sables moyens de Verneuil.

M. le marquis de Raincourt (4) a donné une liste des fossiles de Verneuil (département de la Marne), recueillis dans des sables équivalents à ceux de Beauchamp.

Calcaire de Champigny.

M. Hébert (5) a écrit une notice sur le travertin de Champigny et sur les couches entre lesquelles il est compris : suivant lui, le travertin de Champigny est, comme le gypse, compris entre les marnes marines à Pholodomya ludensis et les marnes lacustres à Lymnées qui recouvrent le gypse et le séparent des marnes à Cyrena convexa.

Poudingues de Nemours. Sables d'Ormoy.

M. d'Orbigny (6) a réuni dans une même note des détails relatifs à l'âge des poudingues de Nemours et à la couche à coquilles marines d'Ormoy. Suivant lui, les poudingues de Nemours appartiennent à l'étage de l'argile plastique. Quant aux sables d'Ormoy, il nie qu'ils doivent se placer à la partie supérieure des sables de Fontainebleau, et croit qu'ils correspondent aux couches coquillières de Jeurre, d'Étrechy, situés à la partie inférieure des sables de Fontainebleau.

M. Hébert (7) a combattu cette opinion. D'après lui, la faune d'Ormoy diffère de celle de Jeurre, et l'assise qui la renferme se trouve immédiatement au-dessous du calcaire de Beauce

(1) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 307.
(2) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 710.
(3) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 137.
(4) *Bull. géol.* (2e s.), XVII, 1860; 499.
(5) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 800.
(6) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 34.
(7) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 53 et 107.

Faune des fahluns.

M. le marquis de Vibraye (1) a signalé la découverte d'un nouveau gisement de vertébrés à Chitenay (Loir-et-Cher), dans des sables de l'âge des fahluns.

Perte du Rhône.

A la perte du Rhône, entre le Gault et la Mollasse marine, existent deux assises, qui sont en allant de bas en haut: 1° les sables à silex; 2° les marnes bigarrées. M. Gabriel de Mortillet (2) range les sables à silex dans le terrain sidérolitique, qu'il place dans l'étage mummulitique supérieur. Quant aux marnes bigarrées, il les croit synchroniques à la molasse d'eau douce.

Miocène d'eau douce du Sud-Ouest de la France.

Après avoir décrit minéralogiquement et stratigraphiquement le bassin de la Garonne proprement dite et celui de l'Ariége, M. Noulet (3) énumère les restes fossiles découverts dans diverses localités situées dans ces bassins. Voici la liste des mammifères :

Pryopithecus Fontani.
Macrotherium sausaniense.
Dinotherium giganteum.
Mastodon angustidens.
Mastodon tapiroides.
Sus simorrensis.
Anchitherium aurelianense.
Rhinoceros brachypus.
Rhinoceros simorrensis.
Rhinoceros tetradactylus.
Dicrocerus elegans.
Dremotherium.
Listriodon splendens.
Anthracotherium.
Anchitherium aurelianense.
Castor subpyrenaicus.
Lagomis sausaniensis.
Viverra simorrensis.
Chœromorus Nouleti.
Id. Dupuyi.
Amphycion leptorynchus.
Steneofiber civiacensis.
Dicrocerus elegans.
Viverra simorrensis.
Chœromorus sansaniensis.
Anthracotherium minimum.
Id. majus.
Rhinoceros minutus.
Elatherium majus.

Les coquilles que l'on rencontre dans le miocène subpyrénéen sont: Helix Lartetii, fort commun; Clausilia minima, rare, ainsi que Cyclostoma Lartetii; la Melania aquitanica y est excessivement abondante; enfin, des Unio, appartenant à six espèces, dont quatre ont les valves relevées de gros plis, caractère étranger à celles qui vivent aujourd'hui en Europe,

(1) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 413.
(2) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 119.
(3) *De la répartition des corps organisés fossiles dans le terrain tertiaire moyen ou miocène d'eau douce du sud-ouest de la France*, par le docteur Noulet. (Extrait des *Mémoires de l'Académie impériale des sciences, inscriptions et belles-lettres de Toulouse.*)

mais qui se retrouve dans les Unio des grands fleuves et des grands lacs de l'Amérique du Nord.

Bassin de Mayence.

M. Gergens (1) a signalé des œufs de tortues dans le calcaire à cerithes d'Oppenheim du bassin de Mayence.

M. Sandberger (2) indique l'ordre de succession suivant pour les couches du bassin de Mayence :

Division supérieure ou miocène.
- — Lignites supérieurs de Domassenheim, Dorheim et de Wetteravie.
- — Graviers à ossements d'Eppelsheim.
- — Grès à empreintes végétales.
- — Calcaire à Littorinelles.
- — Calcaire à Cérites.
- — Calcaire lacustre de Hochheim.

Division inférieure ou oligocène.
- — Marnes à Cyrènes.
- — Argiles à Leda Deshayesiana ou à Septaria (Beyrich).
- — Sables de Weinheim.

Bavière.

M. Emmerich (3) a fait une étude des terrains tertiaires dans le sud de la Bavière, et il les classe de la manière suivante :

I. Terrain nummulitique.
II. Marnes et grès à fucoïdes.
III. Grès schisteux et micacé avec restes de poissons.
V. Oligocène comprenant :
a. Molasse marine inférieure ou couches d'Alzey. Elle peut être considérée comme la base de la couche à cyrènes correspondant au sable de Weinheim et Alzey. — Ses principaux fossiles sont Pectunculus crassus, Cyprina rotundata, Cytherea sulcataria, Turritella incisiva.
b. Marnes à cyrènes de Miesbach. C'est une formation d'eau saumâtre qui, dans le sud de la Bavière, est riche en combustibles exploités. On y trouve : Ostrea cyathula, Ostrea crassissima, Pyrula Laynei, Cerithium plicatum, Cerithium margaritaceum, Congeria Basseroti, Mytilus acutirostris.
c. Dépôts de grès et d'argile de la vallée de Priem et quelques dépôts de combustibles ; cette formation remplace la partie supérieure de la molasse d'eau douce de la Suisse.
V. Miocène.
VI. Pliocène.
Cet étage contient le Mastodon angustidens comme à OEningen et en Italie.
VII. Métapliocène ou Postpliocène, lequel correspond au diluvium stratifié du val d'Arno. Il renferme le Mastodon arvernensis.

(1) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1860 ; 554.
(2) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860 ; 156.
(3) *Zeit. d. d. geol. Ges.*, 1860, 377.

Environs de Lemberg.

Les terrains tertiaires décrits par M. Wolf (1) forment un plateau élevé entre Lemberg et Grodeck ; ce plateau sépare les eaux du Dniester de celles de la Sann et du Bug. Du côté du Bug, les vallées sont ouvertes jusqu'aux marnes de la craie. L'ensemble des couches tertiaires est synchronique au calcaire de la Leitha du bassin viennois.

Dans sa *Géologie de la Pologne*, Pusch avait donné quelques coupes des environs de Lemberg. Il avait distingué au Sandberg, en allant du haut en bas : 1° une brèche sableuse calcaire ; 2° des sables ; 3° un grès coquillier ; 4° un calcaire grossier sableux ; 5° un grès avec lignites ; 6° les marnes de la craie. Plus tard, Ath distingua dans ces couches tertiaires trois étages : 1° le sable supérieur ; 2° le grès à nullipores ; 3° le grès et sable inférieurs.

M. Wolf établit ses divisions en se fondant sur la présence des couches d'eau douce interposées entre une formation marine inférieure et une formation marine supérieure.

Les couches marines supérieures consistent en grès avec serpules, en grès coquilliers et en grès avec ambre ; elles ont une faune assez riche, dont les espèces les plus abondantes sont Isocardia cor Lam., Corbula gibba Olivi, Pecten sarmenticus Goldf, Pecten scabridus Eichwaldt.

Les couches d'eau douce renferment rarement des fossiles, mais sont parfaitement reconnaissables.

Les couches inférieures comprennent le grès à nullipores, les sables si fossilifères de Potilicz, Rawa et Glinsko : dans ces localités, les couches tertiaires sont séparées de la craie par des lignites ; dans d'autres endroits, on trouve encore sous le sable de l'argile ou du sable argileux avec des nullipores, et à la partie tout à fait inférieure un banc de grès à Panopœa Menardi.

Couches à lignites de la Styrie.

Les lignites de Schönstein décrits par M. Rolle (2) remplissent, dans la vallée de la Schall, une dépression creusée dans des calcaires et dolomies secondaires, et dans des couches éocènes formées de tuf dioritique, de marne schisteuse, de calcaire marin à Cerithium dentatum Defr. et de marne et grès à Paludina stiriaca Rolle.

(1) *Annuaire de la Carte géolog. autrich.*, 1860 ; 46-47.
(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Vienne*, 1860 ; 7.

Les couches à lignites renferment cinq espèces de planorbes, une espèce de mélanopsis, deux valvata, trois rythénia, trois hydrobia, une anodonte, deux chara, des feuilles de Viburnum paradisiacum Unger, et de Rhus Meriani Heer. Elles sont plus modernes que toutes les couches tertiaires du bassin viennois, y compris les couches à melanopsis, et sans doute aussi que les couches de Moosbrunn. Elles se trouvent à la limite des terrains tertiaires et des dépôts diluviens. La description des restes végétaux, jointe à la note de M. Rolle, est due au docteur Unger.

Terrain tertiaire avec succin des bords de la Baltique.

M. Tasche (1) a donné une description du terrain tertiaire dans lequel on exploite le succin sur les bords de la Baltique. Voici d'abord quelle est la coupe de ce terrain d'après M. Zaddach (2).

	pieds.
1 Terrain diluvien	14′
2 Sable veiné blanc jaunâtre à la partie supérieure	21′
3 Argile contenant souvent des couches minces de lignite à la base et dans le milieu	8′
4 Sable blanc	24′
5 Sable vert qui, à sa partie inférieure, est cimenté par de l'hydroxyde de fer	84′
6 Sable noir aquifère et coulant (triebsand)	8′
7 Terre contenant le succin, laquelle se trouve à peu près au niveau de la mer	5′
8 Sable vert argileux reconnu sur une épaisseur d'au moins	18′

La couleur noire et brune des sables qui figurent dans cette coupe est due à des débris de lignite; la couleur verte à des grains de glauconie.

Bien que le succin se trouve surtout dans la couche 7, il y en a aussi et même en quantité exploitable dans les autres couches de la formation, particulièrement dans 2 et 6.

Quant au succin, il enveloppe souvent des lignites ou du bois résineux qui accuse son origine végétale. Il est en nodules ou en fragments qui sont le plus souvent entourés par une sorte d'écorce blanchâtre. Les nodules ont quelquefois la forme de poire ou de larme. Certains morceaux sont aplatis, à enveloppes concentriques; ils enveloppent encore des troncs, des

(1) Tasche. *Bilder auf der Reise zur Naturforscher Versammlung in Königsberg in Herbst*, 1860; 86.
(2) *Konigl. physikalisch ökonomische gesellschaft zu Königsberg*, 1860.

branches ou des racines, et ils résultent visiblement de l'écoulement successif d'une sorte de poix. Assez souvent encore, le succin est entouré de pyrite de fer.

Parmi les fossiles du terrain qui renferme le succin, on peut citer des dents de squale, des vertèbres de poissons, qui sont très-accidentelles. Dans la couche 5, il existe aussi une veine de sable brun ferrugineux avec des échinides et des coquilles ressemblant à des huîtres. D'après cela, la partie inférieure de ce terrain a été considérée comme marine par certains géologues. Mais il faut remarquer qu'il peut y avoir eu plusieurs alternances de formation marine et terrestre analogues à celles qui ont été signalées à différentes reprises par Sir Charles Lyell et par M. Hennessy. En outre, M. Tasche observe que les faits s'expliqueraient en admettant que la partie inférieure du terrain s'est déposée, de même que la partie supérieure, dans un golfe, où débouchaient des eaux douces, par exemple, à l'embouchure d'un fleuve.

Faune du succin.

On sait que le succin enveloppe souvent des débris d'animaux ou de végétaux, et comme il est à peu près inaltérable dans l'intérieur de la terre, ces débris sont très-bien conservés. De nombreux observateurs les ont étudiés avec le plus grand soin, et nous allons faire connaître les principaux résultats qu'ils ont obtenus.

D'après les recherches de MM. Berendt, Löw, Göppert, Heer, Schweigger, Hagen, Thomas, Menge, Zaddach, Elditt, Germar, Giebel, Tasche, etc., la faune du succin se répartit ainsi :

	Espèces.	Genres.	Genres nouveaux.
Crustacés	5	3	»
Myriapodes	33	11	1
Arachnides	205	75	29
Insectes. — Aptères	24	9	4
Id. — Hémiptères	60	23	1
Id. — Orthoptères	8	4	1
Id. — Neuroptères	87	41	2
Id. — Diptères	600	94	26
	1.022	261	64

Cette faune comprend donc 1.022 espèces appartenant à 261 genres, dont 64 sont nouveaux. Les crustacés, comme l'a remarqué M. Berendt, appartiennent à des espèces terrestres et non aquatiques. Une mouche Sciara hirticornis est surtout très-abondante. M. Löw a comparé les diptères du succin

avec ceux d'Aix, de Solenhofen, de Radoboj, et il a constaté que tous les genres de ces dernières localités ont été retrouvés dans le succin, bien que les espèces soient différentes.

Les diptères du succin appartiennent même à des espèces qui sont différentes de celles de l'époque actuelle ; toutefois, ils se rapprochent cependant beaucoup de certaines d'entre elles qui vivent actuellement dans d'autres parties du monde.

Enfin, M. Tasche remarque que, d'après les observations de Berendt et d'autres paléontologistes, la faune du succin comprend parmi ses genres : 1° ceux qui vivent actuellement dans le pays ; 2° ceux de la zone septentrionale moyenne avec quelques espèces du nord ; 3° ceux qui ont un caractère tropical ; 4° ceux qui présentent un organisme entièrement nouveau n'ayant pas été rencontré jusqu'à présent sur le globe. Ainsi, la faune du succin indique des climats très-différents.

Flore du succin.

M. Goeppert (1) a étudié les plantes du succin d'après la collection de M. Menge, à Dantzig, et il y a distingué 163 espèces, parmi lesquelles 31 sont encore vivantes. La comparaison de la faune du succin avec celle d'Œningen et de Radoboj, en Croatie, a conduit au contraire certains géologues à considérer les couches qui renferment le succin comme miocènes; mais il importe d'observer que les insectes conservés dans le succin sont complétement conservés et en quelque sorte momifiés; que par suite leur comparaison complète avec ceux des gisements précédents n'est pas sans difficulté. Il n'en est pas tout à fait de même pour la flore ; car les restes des plantes se retrouvent, non-seulement dans le succin, mais encore dans des couches, et, en outre, la flore des terrains tertiaires est mieux connue, parce qu'elle a pu être étudiée dans un grand nombre de bassins où l'on exploite des lignites. Or il résulte des recherches de M. Gœppert que la flore à l'époque du succin était principalement composée de conifères. L'arbre le plus commun était thuites kleinianus. En outre, il y avait 6 autres espèces de tuya, 4 widdringtonia, 2 espèces de libocédrites, 1 callitris, 1 cyprès, 3 chamæ cyparites, 2 taxodium, et 30 espèces de pins auxquels il faut encore ajouter beaucoup de plantes semblables au taxus. M. Gœppert a observé en outre 1 bouleau, 1 aulne, plusieurs espèces de chênes,

(1) *Ueber die Bernsteinflora : Verhandlungen der Königl. pruss. Akademie.* Berlin, 1853 ; 450.

5 saules, ainsi que le cynnamomium polymorphum (l'arbre à camphre). Mais ces plantes sont précisément celles qu'on retrouve dans les dépôts de lignites de la Wetterau et du Rhin inférieur, et elles accusent en partie un climat à demi tropical. Du reste, jusqu'à présent on ne connaît pas de plante aquatique dans le succin ; par conséquent, la flore de cette époque ne se développait pas dans des marais. Il est probable, comme le remarque M. Tasche, que le succin était semblable au copal ou à la térébenthine et qu'il pouvait être sécrété par plusieurs arbres résineux.

Les couches supérieures à celle dans laquelle on exploite spécialement le succin ont d'ailleurs une flore remarquablement semblable à celle de Salzhausen, particulièrement à celle des couches inférieures nommées Blätterkohle. La même flore se retrouve, comme on sait, dans les lignites de la Wetterau, de la Suisse, du Rhin, de la Bohême, des environs de Vienne, de Styrie, et même d'Islande.

M. Tasche a réuni dans un tableau général la flore du succin et celle des lignites qui l'accompagnent ; il indique les localités dans lesquelles les plantes, appartenant au terrain du succin, ont été observées ainsi que les pays dans lesquels des plantes analogues vivent encore maintenant ; il en conclut que la flore du succin indique, comme la faune, un climat à la fois arctique et tropical. Ce résultat peut s'expliquer en admettant, sur les bords de la Baltique, l'existence d'une région très-accidentée que hérissaient de hautes montagnes, ou bien des charriages opérés par des courants qui auraient réuni dans un golfe les débris d'êtres organisés vivant dans le pays et d'autres venus d'une grande distance ; ou bien encore en supposant, avec Sir Charles Lyell, des changements dans le relief du sol et dans la distribution des terres (1).

Quant à l'âge du terrain à succin de la mer Baltique, M. Tasche pense qu'il concorde avec celui des lignites du Vogelsgebirge, du Rhön, du Westerwald, du Siebengebirge, de l'Eifel, de la Bohême. Le dépôt de ce terrain concorde, ainsi que l'a remarqué L. de Buch, avec les éruptions du basalte et des roches qui lui sont associées.

Flore tertiaire.

Les belles recherches de M. le professeur O. Heer sur la

(1) Lyell. *Principles of Geology*, I, 105.

flore tertiaire de l'Europe ont été étendues au val d'Arno, par MM. Ch. Gaudin et C. Strozzi (1). Le nombre des plantes fossiles qu'ils ont déterminées s'élève à 59, sur lesquelles 25 espèces ont été retrouvées à OEningen ou bien au Locle en Suisse, et 11 à Schossnitz en Allemagne. Cette analogie entre le val d'Arno et OEningen mérite d'être signalée ; car OEningen appartient au miocène supérieur. Du reste, il y a lieu de distinguer deux zones dans le val d'Arno, la supérieure qui contient l'Elephas antiquus, et l'inférieure, développée à Montajone et à Sienne, qui ne le renferme pas et offre des espèces végétales plus souvent semblables à celles d'OEningen. Les études de MM. O. Heer et Gaudin sur la flore tertiaire ont montré qu'au-dessous de ces terrains du val d'Arno, d'OEningen et du Locle, il faut placer ceux de la Superga, la mollasse marine de Suisse et le bassin de Vienne ; plus bas, viennent Cadibona et Bagnasco en Italie, Lausanne en Suisse, Radoboj en Allemagne, Aix en Provence; enfin, au-dessous, Montebolca en Italie et le nummulitique de la Suisse. La nature des végétaux observés confirme l'opinion d'un abaissement successif de température dans le midi de l'Europe, de l'époque miocène à l'époque pliocène et de celle-ci à l'époque actuelle.

Faune miocène de Pikermi.

M. Wagner (2) a donné la description des animaux suivants retrouvés à Pikermi.

Mesopithecus pentelicus Wagn.
Ictitherium viverrinum Wagn.
Hyæna eximia W. et R.
Machœrodus leoninus W. et R.
Felis attica Wagn.
Pseudocyon robustus Wagn.
Hystrix primigenia Wagn.
Sus erymanthius W. et R.
Rhinoceros Schleiermacheri Kaup.
Id. pachygnathus Wagn.
Mastodon atticus G. et L.
Dinotherium giganteum Kaup.
Hippotherium gracile Kaup.
Antilope Pallasii Wagn.
Id. Rothii Wagn.
Id. Lindermayeri W.
Id. brevicornis Wagn.
Id. speciosa W. et R.
Capra amalthea Wagn.

La faune de Pikermi a fourni récemment à M. Albert Gaudry le sujet de travaux importants ; les limites chronologiques de cette revue nous forcent à en ajourner l'analyse.

(1) *Mémoire sur quelques gisements de feuilles fossiles en Toscane.— Bibliothèque universelle*, 1859, IV, 203.

(2) *Abhandlungen der Math. Physik. Classe der Bayerischen Akademie der Wissenschaften*, 1860, 109.

Mauvaises terres du Nebraska.

La découverte des mammifères des mauvaises terres dans le Nebraska a fourni de nombreuses données sur la faune tertiaire de l'Amérique du Nord. Le caractère particulier de cette faune est sa richesse en solipèdes. Énumérons les genres et les espèces reconnues par M. Leidy et mentionnées par M. Giebel (1).

Equus excelsus et Equus perditus (avaient la même dentition que le cheval actuel).
Hippotherium occidentale.
Id. speciosum.
Merychippus (genre formant transition entre le cheval et les ruminants; les molaires postérieures ont seulement des plis d'émail plus simples que le cheval; les molaires antérieures ressemblent à celles des ruminants.
Elephas imperator.
Rhinoceros occidentalis (rhinocéros sans corne).
Rhinoceros nebrascensis (molaires de rhinocéros, incisives et canines de tapirs).
Leptochærus, Palæochærus, Archæotherium, } appartiennent à la tribu des suidés.
Elatherium.
Titanotherium (se place entre le rhinocéros et le palæotherium).
Oreodon (forme, comme le palæotherium, une transition aux ruminants).
Pæbrotherium = représente le genre moschus.
Leptomeryx Evansi correspond au genre dorcatherium du miocène d'Europe.
Leptauchenia, Protomeryx, } ressemblent plus aux chameaux qu'aux lamas de l'Amérique du Sud.
Cervus Virginicus.
Procamelus. Ce genre renferme des animaux plus rapprochés des chameaux que des lamas.

Les rongeurs comprennent :

Steneofiber nebrascensis, correspond au chalicomys de l'éocène moyen d'Europe.
Ischyromys (avec cinq molaires à la mâchoire inférieure).
Palæolagus (les mâchoires et les dents de ce genre appartiennent à un véritable lièvre).
Eumys elegans (est probablement un rat).
Hydrochærus (vit dans l'Amérique du Sud).
Rongeur correspondant à l'Hystrix cristata d'Europe.

Les carnassiers renferment :

Machærodus : une espèce de la grandeur d'une panthère.

(1) *Vestermann's Monatshefte*, n° 41, 1859.

Deinistis, forme une transition aux mustélides par le nombre et la forme des molaires.
Amphicyon : deux espèces.
Hyænodon : trois espèces.
Canis sævus, Canis Haydeni, } correspondent au loup.
Canis Vafer, Canis temerarius, } correspondent au renard rouge.
Felis intrepidus : grandeur d'une panthère ; tubercule derrière les canines.
Felis ferox : dents carnassières du loup.

Mastodon de Nikolaïeff.

On a trouvé auprès de Nicolaïef des restes nombreux d'un mastodon, que M. Brandt (1) croit devoir rapporter au mastodon angustidens. Ces restes comprennent la partie supérieure du crâne avec les incisives, la mâchoire inférieure, une grande quantité de vertèbres et de côtes, une omoplate presque entière et une partie des os du carpe. Tous ces restes appartiennent à un même individu qui devait avoir une très-grande taille, à en juger par les incisives qui ont six pieds et demi de long.

Infusoires du tripoli.

M. Ch. Johnston (2) et M. Ch. Stodder ont étudié les infusoires d'un tripoli provenant de Nottingham, comté de Calvert dans le Maryland. La plupart des espèces observées se retrouvent dans le tripoli des Bermudes, et d'après M. Tyson, qui a signalé le gisement de Nottingham, il appartiendrait soit à l'éocène supérieur, soit au miocène inférieur.

Les travaux qui viennent se placer à la suite des terrains tertiaires embrassent des sujets très-divers : l'étude des terrains diluviens, la question des silex taillés et de l'homme fossile, les roches striées et polies, les cavernes à ossements.

Diluvien. Joinville (Seine).

La tranchée du diluvium de Joinville a fait connaître l'existence d'un nouveau et riche gisement de coquilles fluviatiles et terrestres. Ce gisement a été décrit et ces coquilles ont été déterminées par M. Ch. d'Orbigny (3).

Alsace.

M. Kœchlin-Schlumberger (4) a cherché à démontrer que : 1° l'âge du gravier du Sundgau est le même que celui du gravier de la plaine du Rhin ; 2° que le lehm avec coquilles du

(1) *Bulletin de l'Académie impériale des sciences de Saint Pétersbourg*, 1860, II, 196.
(2) *The American Association*, 1860 ; 159.
(3) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860 ; 66.
(4) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860 ; 82.

Sundgau est de la même formation que celui de la plaine du Bas-Rhin et du grand-duché de Bade.

Nord de l'Allemagne.

M. Beyrich (1) a signalé dans le terrain diluvien du nord de l'Allemagne l'existence du Rhinoceros leptorhinus, qui accompagne assez rarement le Rhinoceros tichorinus.

Silex taillés.

M. Gaudry (2) a fait exécuter des fouilles près d'Amiens, pour découvrir dans le diluvium les haches taillées de main d'homme qui ont été signalées en premier lieu par M. Boucher de Perthes et depuis par MM. Lyell et Prestwich. Il annonce avoir trouvé personnellement neuf haches en place dans le diluvium.

A propos de la découverte des silex taillés dans le diluvium d'Amiens, M. Buteux (3) est entré dans des détails circonstanciés sur les terrains superficiels et diluviens de la Somme. Il établit pour ces terrrains la classification chronologique suivante :

1° Silex non roulés (quaternaire?) ;
2° Dépôt de silex roulés et travaillés ;
3° Limon des plateaux ;
4° Limon remanié et silex non roulés.

M. de Bennigsen-Förder (4), qui a visité le gisement de Saint-Acheul, a exprimé l'avis que les instruments en silex y étaient remaniés, et peut-être même introduits postérieurement par les eaux avant la consolidation des couches dans lesquelles ils se trouvent.

M. F. J. Pictet (5) a examiné aussi la question de l'homme fossile ; après avoir discuté les opinions et les faits émis dans ces derniers temps en France et en Angleterre il se montre disposé à admettre pour l'origine de l'homme une haute antiquité, qui remonterait au commencement de la période quaternaire.

Entre la période diluvienne et la période moderne, M. Pictet ne voit aucune modification de la faune. Il pense même que

(1) *Zeit. d. d. geol. Ges.*, XII, 522.
(2) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860 ; 17.
(3) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860 ; 72.
(4) *Zeit. d. d. geol. Ges.*, XII, 520.
(5) *De la question de l'homme fossile.* — Note sur la période quaternaire ou diluvienne, considérée dans ses rapports avec l'époque actuelle. (*Bibliothèque universelle de Genève*, mars et août 1860.)

toute la faune actuelle ou moderne, y compris l'homme, aurait existé dès l'origine de la période diluvienne ou quaternaire.

Languedoc. M. P. Gervais (1) a signalé la présence dans les dépôts diluviens du bas Languedoc, du genre daim (Cervus somonensis) et du renne fossile (Cervus Guettardi et priscus).

Cannstadt. M. Hermann de Meyer (2) a examiné des œufs fossiles provenant d'un tuf calcaire et diluvien de Cannstadt; d'après leur forme régulière et ovale, il les regarde comme provenant d'une émyde.

Mollusques du terrain postpliocène en Norwége. Tous les mollusques du terrain postpliocène ou glaciaire de Norwége appartiennent sans exception, suivant M. Sars (3), à des espèces encore vivantes. On y rencontre des espèces qui ne vivent plus aujourd'hui sur la côte méridionale de la Norwége, mais qui se trouvent encore sur la côte septentrionale, ou même sur les côtes des régions arctiques, par exemple, Tritonium despectum, Buccinum groenlandicum, Natica clausa, Siphonodentalium vitreum, Astarte arctica.

D'autres espèces, bien que se rencontrant sur les côtes méridionales de la Norwége, y sont moins nombreuses, d'une moindre taille que sur les côtes septentrionales et qu'à l'état fossile, par exemple, Trophon clathratum, Natica groenlandica, Pecten islandicus, Lima excavata, Arca raridentata, Panopæa norvegica.

Ces phénomènes semblent prouver qu'il y a une migration lente des espèces du sud au nord, à partir de l'époque glaciaire.

Roches polies et striées de Scandinavie. Les roches de la Scandinavie sont usées, polies et striées jusqu'à de très-hautes altitudes. Ce phénomène a été attribué à une friction, sans qu'on fût d'accord sur l'agent qui l'avait produite. On le considère pourtant généralement comme lié au transport des blocs erratiques. Les directions des stries et des sillons sont multiples, et convergent, non pas vers un centre unique, mais vers plusieurs centres, comme l'indique une carte récente de M. Hoerbye (*Observations sur les phénomènes d'érosion en Norwége, Christiania*, 1857).

(1) *Comp. rend.*, 1860; 624.
(2) *N. Jahrb. v. Leonhard.* 1860; 559.
(3) *Zeit. d. d. geol. Ges.*, XII, 1860; 409.

M. Kjerulf (1) a discuté les diverses hypothèses à l'aide desquelles on a cherché à expliquer l'apparence des roches norvégiennes, et s'attache à démontrer que celle de l'extension d'anciens glaciers étendus sur toute la contrée se concilie le mieux avec les phénomènes.

Anciens glaciers. M. Ed. Collomb (2) a publié des recherches sur les anciens glaciers, et M. G. de Mortillet (3) les a étudiés sur le versant italien des Alpes, depuis la vallée de la Stura à l'ouest, jusqu'à celle du Tagliamento à l'est.

Mer du Nord. D'après la comparaison des couches les plus récentes du terrain diluvien, dans le nord de l'Allemagne, et en Angleterre, M. de Bennigsen-Förder (4) croit pouvoir admettre que l'Angleterre a été séparée du continent seulement après la période diluvienne et au moment où s'est formée la mer du Nord.

Cavernes à ossements. Glamorganshire. Les cavernes à ossements de Gower (sud du pays de Galles), explorées par M. Falconer (5) sont creusées dans le calcaire carbonifère : les plus importantes sont Bacon Hole, Minchin Hole, Bosc'os Den, Bowen's Parlour, Crow Hole, Raven's cliff cavern, et les cavernes de Paviland.

Le plancher de Bacon Hole présente la coupe suivante de bas en haut :

1° Quelques pouces de sable marin avec Littorina rudis et littoralis, Clausilia nigricans et ossements de Campagnols et d'oiseaux;
2° Une couche mince de stalagmite;
3° Deux pieds de sable noir avec os d'Elephas antiquus, des débris de Meles taxus et de Putorius (vulgaris?);
4° Un ou deux pieds d'ocre, de brèche calcaire et de sable avec restes d'Elephas antiquus, de Rhinoceros hemistœchus, d'Hyène, de Canis lupus, d'Ursus spelæus, de Bos, de Cervus;
5° Des stalagmites enveloppant une énorme défense d'éléphant;
6° Des brèches calcaires avec os d'Ursus et de Bos;
7° Un lit de stalagmites d'un pied avec
8° De la terre de couleur foncée, avec os de Bos, de Cervus, de Canis vulpes, des cornes de rennes et de chevreuil, des coquilles de Patella, Mytilus, Purpura, Littorina et des morceaux d'anciennes poteries britanniques.

(1) *Zeit. d. d. geol. Ges.*, XII, 1860; 389.
(2) *Archives des sciences de la Bibl. universelle de Genève*, juillet 1860.
(3) *Société italienne des sciences naturelles*, 23 déc. 1860; III. Milan.
(4) *Zeit. d. d. geol. Ges.*, XII, 519.
(5) *Geolog. Society*, 13 juin 1860.

Minchin Hole offre la coupe suivante de bas en haut :

1° Sable marin, reposant sur la roche, contenant des Littorina ;
2° Glaise sablonneuse noire avec débris de Rhinoceros hemæstichus, d'Elephas et de bœuf ;
3° Sable ;
4° Terre de caverne jaune ;
5° Brèche calcaire meuble.

Dans Bosco's den, on a de bas en haut :

1° Glaise ocreuse ou terre de caverne, avec Ursus spelæus, Canis lupus, C. vulpes, Bos, Cervus, Arvicola (on y a recueilli plus de mille bois de cerf) ;
2° Lit de brèche pierreuse ;
3° Couche de sable ;
4° Glaise sans ossements ;
5° Stalagmites ;
6° Lit de tourbe avec os de bœuf et de loup et bois de cerf (Cervus Guettardi et Cerv. priscus).

Dans toutes ces cavernes, le fond paraît avoir été rempli de sable marin, entremêlé d'os de pachydermes, de ruminants, alors vivants sur la terre émergée de Gower. Sur ce dépôt, se forma un lit stalagmiteux qui servit de plancher à la terre de caverne et à d'autres matières d'alluvion, avec ossements et bois de cerf.

M. Falconer remarque qu'on n'a trouvé nulle part dans les cavernes d'Angleterre l'Elephas meridionalis, et le Rhinoceros etruscus de la forêt sous-marine placée sous le Boulder Clay de la côte de Norfolk, et 2° que l'Elephas antiquus, avec le Rhinoceros hemistæchus et l'E. primigenius avec le Rh. tichorhinus, bien que caractérisant, les uns la première, les autres la dernière partie d'une même période, ont été pourtant contemporains et ont été les compagnons des ours, des lions, des hyènes des cavernes et de quelques-uns des mammifères actuels.

Arcy-sur-Yonne. M. le marquis de Vibraye a exploré les grottes d'Arcy-sur-Yonne (1) et y signale la découverte d'une mâchoire humaine.

Haute-Saône. Un ouvrage posthume de M. Nodot (2) fait connaître toutes les espèces recueillies dans la grotte à ossements de Fouvent (Haute-Saône). En voici l'énumération : Ursus spæleus très-rare ; renard plus grand que le renard commun ; carnassier de la grosseur d'un chien, Hyæna fossilis (Cuv.) ; Mustela, Felis spælea (Gold.) très-rare ; Felis indéterminé ; rongeur non déterminé de la grosseur d'un campagnol ; Castor ; Elephas meridionalis (Nesti) très-commun ; éléphant, une seule dent adulte très-mince et très-allongée comparativement à celle de l'espèce précédente ; Elephas primigenius (Blum.) ; Rhinoceros ; Equus caballus (Linné) ; Cervus elephas (Cuv.) ; Cerf indéterminé ; Cervus capreolus ; Bos urus très-commun. Cette liste comprend quatre genres qui n'avaient pas encore été trouvés à Fouvent, savoir : castor, cerfs, petite espèce de rongeur ou genre Mus, marte voisine de notre espèce commune. On y trouve, en outre, le renard, ou un carnassier voisin du chien et deux espèces d'éléphants. Il est remarquable que parmi ces nombreux fossiles on ne rencontre pas de mastodontes, notamment le Mastodon giganteum et le Mastodon angustidens qui se trouve si souvent dans les terrains d'alluvions anciennes des environs de Fouvent, ainsi que dans toute la plaine de la Haute-Saône et de la Côte-d'Or.

(1) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860 ; 462.

(2) Nodot. *Une visite à la grotte de Fouvent (Haute-Saône) ; ossements fossiles et débris de l'industrie humaine.* (Ouvrage posthume. Dijon.)

Pour les mastodontes, M. Nodot signale notamment un fémur énorme, provenant du minerai pisiforme d'Autrey, où il était associé à plusieurs espèces de rhinocéros et de cerf. Ce fémur a 1m,32 de longueur, et une largeur de 0m,44 de la partie antérieure de la tête à l'extrémité du trochanter ; il dépasse donc tous ceux qui sont connus jusqu'à présent.

Sicile. Les cavernes à ossements sont nombreuses sur la côte septentrionale de Sicile, entre Termini et Trapani ; elles sont creusées dans une falaise de calcaire à hippurites, dominant une plaine formée par le terrain pliocène. La plus connue est la grotte de San-Ciro qui a fourni une énorme quantité d'ossements d'hippopotames. M. Falconer (1) y a trouvé, outre deux espèces de cet animal, des restes d'Elephas antiquus, de porc, de bœuf, de cerf, d'ours, de chien.

La grotte de Maccagnone, près de Carini, est à 50 pieds au-dessus de la terrasse pliocène ; le sol de la grotte est fermé du haut en bas par les couches suivantes : 1° couche de limon avec blocs calcaires ; 2° lit ocreux avec blocs ; 3° dépôt gris, de limon gris, spongieux et cellulaire, cimenté par des infiltrations calcaires ; 4° brèche osseuse remplie de blocs

(1) *Sur la grotte ossifère de Maccagnone, près Palerme*, par Falconer. (*Geolog. Society*, vol. XVI, 1860 ; 99.)

calcaires. Le plafond de la grotte est couvert par un dépôt bréchiforme consolidé par une couverture stalagmitique. Cette brèche d'argile calcaire est venue d'en haut par des fentes et renferme des coquilles d'eau douce actuelles, des débris d'ossements, des dents de ruminants et de cheval, des fragments de silex taillés. La grotte devait être comblée au moment où s'est effectué ce dernier dépôt.

Le baron Anca (1) a découvert deux nouvelles grottes à ossements, celle de Monte-Gallo, à l'extrémité occidentale de la baie de Palerme, à 160 pieds au-dessus du niveau de la mer, et celle d'Acque-Dolci, au pied de Monte-San-Fratello, à 214 pieds d'altitude.

Elles contiennent beaucoup d'ossements de carnivores, des restes d'éléphants et d'hippopotames. Voici les espèces trouvées : Hippopotamus, 2 espèces; Elephas antiquus, Elephas africanus, Sus scrofa (?) Equus, Bos, 2 espèces; Cervus, 2 espèces; Canis, Ursus, Hyæna, Felis, Lepus, etc. M. Anca annonce aussi la découverte de beaucoup de silex taillés.

IV. DESCRIPTIONS GÉOLOGIQUES.

Dans la quatrième partie de cette revue, nous allons donner un résumé succinct des travaux géologiques qui sont relatifs à certaines régions, et, comme précédemment, nous suivrons autant que possible l'ordre géographique.

Europe.
Irlande.

MM. Egan et Geoghegan (2) ont terminé une carte géologique de la vallée d'Ovoca, l'un des districts les plus intéressants de l'Irlande à cause de sa grande richesse minérale.

MM. Geoghegan et Patterson ont donné une coupe géologique de la péninsule de Hook, dans le comté de Wexford. Dans cet endroit, mieux que dans toute autre partie de l'Irlande, on voit bien le calcaire carbonifère inférieur et sa relation avec le conglomérat du vieux grès rouge.

(1) *Cavernes ossifères de Sicile*, par le baron Anca. (*Geolog. Society*, vol. XVI, 1860; 459.)
(2) *The Natural history Review*, avril 1860, n° XXVI, 160. — Address by Rev. Sir Haughton.

L'Académie royale de Dublin a publié un mémoire sur la géologie et sur la minéralogie du sud-est de l'Irlande. La géologie a été traitée par M. J. Beete Jukes, la minéralogie par M. S. Haughton. M. J. Beete Jukes considère les roches stratifiées de cette partie de l'Irlande comme étant cambriennes et cambro-siluriennes; il désigne par ce dernier terme des roches qui sont vraisemblablement intermédiaires entre le cambrien et le silurien; mais la détermination précise de leur position dans la série des terrains ne pourra avoir lieu si l'on n'y trouve pas des fossiles.

Dans le même volume des mémoires de l'Académie royale d'Irlande, le docteur Kinahan a indiqué quelles sont les affinités zoologiques des fossiles cambriens les plus remarquables de Bray Head.

M. J. Beete Jukes, à la suite de recherches avec M. Dunoyer, a fait connaître un lambeau du terrain carbonifère inférieur, dans le nord du comté de Dublin. Des couches calcaires, schistoïdes, terreuses et de couleur noire, qui s'y trouvent, paraissent identiques à celles développées à Kilkenny, Tipperary et Cork, et ne se rapporteraient pas, comme on l'avait cru jusqu'ici, au calcaire désigné sous le nom de *calp*, qui forme l'étage moyen du calcaire carbonifère de l'Irlande.

Le Journal de la Société royale de Dublin de 1859 contient la description de fossiles du calcaire carbonifère de l'Irlande; les procès-verbaux de la Société d'histoire naturelle donnent aussi, d'après M. Joseph Wright, quelques fossiles appartenant au même terrain et provenant de Cork et de Clonmel. Parmi ces fossiles, ceux qui sont nouveaux ont été nommés : Cerithioides telescopium, Orthoceras clomeliense, O. Wrightii, Nautilus Willockii.

M. H. Kinahan (1) a indiqué une faille renversée dans le bassin houiller de Leinster en Irlande. Contrairement à la règle, la couche de houille qui est coupée par le plan de la faille se relève à une hauteur de 17 pieds du côté de l'angle obtus, et en même temps elle diminue beaucoup d'épaisseur.

M. Baily a fait connaître les fossiles du terrain houiller du Leinster. Parmi ceux qu'il a décrits, il faut signaler spéciale-

(1) *The Natural History Review*, n° XXVI, 156, 1860.

ment les trilobites bizarres nommés Bellinurus regina et Bellinurus arcuatus. Nous mentionnerons encore des fougères nouvelles, Pecopteris Edgeii, Sphenopteris pulchra, Adiantites Kinahani.

Sir Richard Griffith a signalé l'existence d'un lambeau de calcaire magnésien à Templereagh, dans le comté de Tyrone en Irlande; il est probable, d'après cette découverte, que ce calcaire du terrain permien occupait originairement une étendue beaucoup plus grande au nord de cette contrée.

M. Brennan a découvert une caverne à ossements dans le calcaire de Dungarvan. D'après les déterminations faites par le docteur Alexandre Carte, les ossements se rapportaient aux espèces suivantes : Elephas primigenius, Ursus spelæus, Ursus arctos, Equus, Cervus tarandus.

Écosse.

La nouvelle carte d'Écosse, publiée par sir R. Murchison(1), est à la même échelle que celle qui fut dressée en 1827 par le professeur Sedgwick et par sir R. Murchison : des changements notables y ont été apportés dans la classification. Depuis 1827 et jusqu'en 1856, tous les grès rouges et conglomérats, dont on a reconnu aujourd'hui l'infériorité au silurien inférieur de l'Ouest, ont été coloriés comme représentant le vieux grès rouge de la côte orientale, lequel est superposé à toutes les roches siluriennes. Cette erreur a été rectifiée déjà sur la carte récente d'Écosse du professeur Nicol, par suite des observations communes de ce savant et de sir R. Murchison. Mais le professeur Nicol n'avait pas encore reconnu l'existence du *gneiss fondamental*, inférieur au cambrien et au silurien, et entièrement différent, suivant M. Murchison, des autres roches gneissiques et micacées, qui reposent sur des roches siluriennes inférieures fossilifères.

Cette superposition a été constatée dans la partie occidentale du Sutherland et du Rosshire. D'après cela, M. Murchison a cru devoir placer dans le terrain silurien inférieur toutes les roches des comtés d'Inverness, Argyll, Moray, Banff, Aberdeen, Perth, etc., qui consistent en gneiss et en roches micacées, chloritiques ou argileuses. Une vaste étendue de roches dites *primaires*, considérées comme antérieures à tout sédiment

(1) *Carte géologique du nord de l'Écosse*, par Sir Roderick Impey Murchison. (*Geolog. Society*, vol. XVI, part. 2, 1er mai 1860.)

fossilifère, est ainsi considéré comme un simple terrain métamorphique, appartenant au silurien inférieur.

Le vieux grès rouge est d'ailleurs divisé en trois zones, l'inférieure formée par des grès rouges et par des conglomérats, la moyenne par les dalles de Caithness, la supérieure par les grès jaunes de Sutherland, Ross et Moray. De ce dernier groupe, sir R. Murchison détache les grès *à reptiles*, bien qu'on n'observe dans ce district aucune transgression entre le dévonien et les couches qui renferment les reptiles.

Espagne.

M. de Verneuil (1) continue la carte géologique de l'Espagne. Les résultats de ses dernières explorations faites avec M. Triger et Collomb sont consignés dans une note étendue sur une partie du pays basque espagnol, accompagnée d'une carte; on y a joint la description de quelques Échinodermes, par M. G. Cotteau.

Malaga.

M. D. T. Ansted (2) a donné une description géologique des environs de Malaga. Les roches les plus anciennes de l'Andalousie sont métamorphiques; elles consistent en micaschistes grenatifères, qui forment en partie la sierra Nevada. Ces micaschistes sont associés à des schistes chlorités et argileux. Des veines de quartz les traversent, et accidentellement ils sont recouverts par des couches épaisses de minerai de fer argileux. En outre des filons métallifères contenant du cuivre, du plomb, de l'argent et de l'antimoine ont été exploités à différentes époques et sur plusieurs points, principalement dans la partie sud. Ces filons sont souvent larges et bien caractérisés, mais les minerais y sont disséminés irrégulièrement. De l'or a été obtenu en lavant les sables provenant du côté ouest de la sierra; et du cinabre existe sur le côté nord.

Les roches éruptives sont très-rares dans le micaschiste de la sierra Nevada; cependant la serpentine se montre sur plusieurs points, et autrefois elle a été exploitée sur une grande échelle aux environs de Grenade.

Castellon.

M. de Vilanova y Piera(3) a consacré un mémoire à la géologie et à l'agriculture de la province de Castellon, en Espagne.

(1) *Bull. géol.* (2e s.). XVIII. 1860; 333.

(2) *Geolog. Society*, XV, 585. On the Geology of Malaga and Southern part of Andalusia.

(3) *Memoria geognostico-agricola sobre la provincia de Castellon.* — Madrid, 1859.

Le terrain le plus ancien de cette province est le trias. Comme d'habitude il présente à sa base des grès bigarrés qui passent à des conglomérats ou bien à des roches argileuses. Ces grès renferment accidentellement du cuivre, du cobalt, du cinabre, qu'on y exploite en quelques points, notamment à Chovar et à Eslida. Le muschelkalk s'observe à Gaibel, Mont-Bernavia, Cirat, Villahermosa, Villafamès, au couvent du désert de Las Palmas y Agujas de Santa Agueda. Ensuite viennent les marnes irisées qui n'ont pas une stratification bien accusée et qui renferment du gypse, ainsi que du sel. Les trois étages du trias sont bien visibles dans la sierra de Espadan ou dans ses dépendances, et les marnes irisées y forment des collines ou des talus sur les flancs des montagnes de grès bigarré. A la Villavieja, des eaux minérales marquant seulement de 23° à 39° sortent de ce terrain; elles contiennent du sulfate de magnésie, du chlorure de sodium et de magnésium, des carbonates de chaux, de fer et de soude.

Le terrain jurassique est composé de calcaires, de marnes, d'argiles et de grès : les calcaires ont des couleurs distinctes, généralement obscures; ils peuvent aussi se changer en marbre et devenir métamorphiques. Le lias, la grande oolite et l'oolite inférieure, ainsi que l'oxfordien, se trouvent à Bejis, Molinar, Cueva Santa, Cerra de las Mulas; le kimméridien au Campillo; le portlandien dans les montagnes du Toro y Barracos.

Le terrain crétacé est essentiellement formé de calcaires, de sables, de marnes, d'argiles; il contient accidentellement du minerai de fer ainsi que du lignite, qui est exploité à la mine de Bel. Les fossiles recueillis appartiennent aux étages du néocomien, du gault, de la craie tufau et de la craie blanche. Dans les montagnes d'Alcala, le néocomien forme un beau marbre lumachelle qui est rempli de caprotines et de nérinées.

Le terrain tertiaire est exclusivement miocène et lacustre; il se compose de couches de marnes alternant avec des calcaires, des argiles, des sables et avec des dépôts accidentels de gypse, de lignite; il est en stratification discordante sur le terrain crétacé. Les fossiles principaux sont Helix Dufrenoyi, Lymnæa palustris, Planorbis rotundatus et corneus, Cyclostoma Draparnaudi.

Le terrain quaternaire est représenté par la tourbe, le tuf calcaire, le terrain de transport et les alluvions.

Parmi les roches éruptives, il n'y a à signaler que la diorite, qui se montre aux environs de Segorbe; elle a disloqué les couches du trias et elle est visiblement en relation avec la diorite indiquée par M. de Verneuil dans le pueblo de Manzanera.

Les îles Columbretes, qui se trouvent sur la côte et qui doivent leur nom à la grande quantité de serpents qui les habitent, sont entièrement volcaniques; elles présentent toutes un tuf ou peperino qui contient des masses de basalte et qui est recouvert par un grand dépôt de basalte noir et celluleux.

France. Manche.

M. Bonissent(1) a continué ses études sur le département de la Manche. Il décrit successivement les talcites, les micaschistes, les gneiss.

Aux Corbettes et à Diélette, on trouve le minerai de fer duquel nous avons déjà parlé. Il consiste en fer oxydulé et en fer oligiste, dont la richesse s'élève jusqu'à 85 p. 100. Il est associé à quelques centièmes de quartz, de feldspath et de pyrite de fer. La surface qu'il occupe est d'environ 5.000 mètres; malheureusement, c'est dans des endroits peu accessibles, qui sont en partie recouverts par la marée haute. Il forme d'ailleurs des amas dans le leptinite.

Eure-et-Loir.

M. Laugel (2) a donné la description de tous les terrains représentés dans le département d'Eure-et-Loir, et une coupe montrant la composition et la disposition du terrain crétacé aux environs de Nogent-le-Rotrou.

Oise.

M. Passy (3) a dressé la carte géologique du département de l'Oise à l'aide des manuscrits laissés par M. Graves et en s'aidant de ses propres recherches.

Gard.

M. Parran (4) rend compte de deux sondages exécutés dans le département du Gard.

Lozère.

Une notice de M. Dorlhac (5) comprend une description rapide des roches de la Lozère. Les trois quarts de ce département sont occupés par des granites porphyroïdes, des porphyres granitoïdes, des granites proprement dits, des micaschistes, des gneiss et des schistes.

---

(1) *Essai géologique du département de la Manche.* (Extrait des *Mémoires de la Société impériale de Cherbourg*, 1860, VIII.)
(2) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 316.
(3) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 273.
(4) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 115.
(5) *Esquisse géologique du département de la Lozère*, par M. Dorlhac. Brochure in-8. — Mende, 1860.

Les couches sédimentaires se rapportent au terrain jurassique et au trias (?) ; on observe aussi quelques lambeaux tertiaires de peu d'étendue près Saint-Alban et Molzieu.

La notice est complétée par l'étude des nombreux gîtes métallifères du département, accompagnée d'une rose des directions des filons et des soulèvements.

Bas-Rhin. M. Daubrée (1) a observé le gisement du pétrole dans un puits d'exploitation percé à Schwabwiller. Le pétrole imprègne une couche de sable tertiaire d'une épaisseur totale de $1^m,40$. Il jaillit de cette couche avec de l'eau et dégagement d'hydrogène carboné. L'eau tient en outre en dissolution du sel marin, comme on l'a observé pour un grand nombre de sources de pétrole. Il paraît résulter de là que le sel de Soultz-sous-Forêts provient bien du terrain tertiaire. Des coquilles marines sont d'ailleurs associées au pétrole de Schwabweiller, tandis que le calcaire asphaltique de Lobsann, qui est à une distance de 9 kilomètres et à un niveau un peu plus élevé, alterne avec des couches remplies de planorbes.

Alpes. M. Ch. Lory (2) a publié une note sur les grès de la Maurienne et du Briançonnais, accompagnée d'une coupe du bassin d'Arves et de la chaîne des Trois-Aiguilles. Il a signalé ensuite (3) la découverte faite par M. Pillet de deux espèces de nummulites dans un grès à ciment calcaire, sur la rive gauche de l'Arc près de Saint-Martin-de-la-Porte. Il est entré dans quelques détails (4) sur le gisement de ces nummulites et dans des considérations sur l'usage des caractères stratigraphiques dans les Alpes.

Savoie. M. A. Favre (5) s'est proposé de montrer que la plupart des couches de cargneule et de gypse des Alpes de la Savoie appartiennent au terrain des marnes irisées. Il observe que cette classification est confirmée par la nature même des roches; car le gypse, l'anhydrite, le sel gemme, la dolomie et les cargneules sont des roches caractéristiques des terrains keupériens de France et des Alpes. Bien que les gypses et les cargneules ne présentent pas une stratification très-visible, ils

(1) *Instit.*, 28 mars 1860.
(2) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 21.
(3) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 177.
(4) *Bull. géol.* (2e s.), XVIII, 1860; 481.
(5) *Mémoire de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève*, 1859, XV. — *Bibliothèque universelle*, IV, 327.

forment cependant des couches dont les affleurements peuvent se suivre sur plus de 25 lieues. D'après M. A. Favre, ces couches sont placées immédiatement au-dessous des couches dites de Kössen qui appartiennent au lias (une partie se rapporte même au *bone-bed*) et au-dessus du terrain houiller. Elles reposent, tantôt sur le terrain houiller, tantôt sur des roches cristallines. Elles se présentent avec les mêmes caractères, depuis l'Oberland bernois jusqu'aux Alpes françaises; en sorte qu'elles fournissent un horizon géologique pouvant servir à séparer le terrain jurassique de la formation carbonifère. M. A. Favre observe en outre que le terrain anthraxifère des Alpes est composé de deux étages, les schistes ardoisiers avec empreintes de plantes et au-dessous les grès ou les poudingues.

Dauphiné. Après avoir décrit rapidement le plateau calcaire jurassique du nord de l'Isère, et les couches jurassiques de la montagne de Crussol, en face de Valence, M. Lory (1) entre dans la région des chaînes centrales des Alpes ou des Alpes granitiques. Cette région comprend les montagnes les plus élevées du Dauphiné, constituant trois massifs principaux allongés du nord-nord-est au sud-sud-ouest, la chaîne de Belledone, celle des Grandes-Rousses et le massif du Pelvoux. Ces trois grands massifs de terrains cristallins sont couverts sur leurs flancs par des terrains sédimentaires; ces terrains sont: 1° le *lias*, formé de calcaires et schistes argilo-calcaires noirs, avec bélemnites, prenant souvent la structure de l'ardoise; 2° le *grès à anthracite* de l'Isère, avec couches d'anthracite dure et empreintes de plantes houillères, suivant M. Lory, inférieur au lias et indépendant de ce terrain; 3° le grès d'Allevard, de classification douteuse, mais placé dans des conditions de gisement analogues au précédent.

M. Lory admet que les grès à anthracite de l'Isère sont un terrain distinct des schistes talqueux ou micacés, des gneiss, etc. et généralement des terrains cristallins. Cependant sur divers points, particulièrement dans l'Oisans et le Valbonnais, les grès sont sensiblement parallèles aux gneiss et aux schistes cristallins, et il existe alors sous ces derniers des roches métamor-

(1) *Description géologique du Dauphiné (Isère, Drôme, Hautes-Alpes)*, pour servir à l'explication de la carte géologique de cette province, par Charles Lory, professeur de géologie à la Faculté des sciences de Grenoble 1re partie. — Paris, 1860.

phiques, eurites, grauwackes, schistes argileux satinés, etc.; roches, qui représenteraient le terrain de transition. Les grès à anthracite eux-mêmes seraient les représentants du terrain houiller proprement dit. Des dislocations et des plissements ont bouleversé ces terrains avant le dépôt du lias qui repose sur les tranches des couches qui les composent.

Les grès d'Allevard sont distingués des grès à anthracite et aussi du lias et rapportés provisoirement au terrain du trias.

Les couches du lias sont décrites en détail; ce terrain se compose d'une énorme série de calcaires plus ou moins feuilletés, colorés en noir bleuâtre, de schistes, des grès ou conglomérats plus ou moins grossiers, de cargneules, de gypse (Champ, Vizille, Allevard, etc.).

Deux chapitres sont consacrés à l'étude des roches éruptives, granites, diorites, euphotides, serpentines, spilites et à celle des filons et gîtes métallifères (filon de fer spathique d'Allevard mines des Chalanches, filons de quartz aurifère de la Gardette, mines de la chaîne des Rousses et des environs de la Grave).

Passant en revue les caractères généraux des divers terrains des Alpes centrales. M. Lory en étudie successivement la disposition dans les principales chaînes de cette région, dans la chaîne de Belledonne, dans celle des Grandes-Rousses et dans le groupe montagneux du Pelvoux.

Dans le plan de l'ouvrage, la description des régions du Briançonnais et de l'Embrunais suivra celle des chaînes centrales.

Belgique. Après avoir rappelé les travaux de Dumont, M. Gosselet (1) décrit successivement le poudingue de Burnot, les couches inférieures à ce poudingue, composées du terrain rhénan et ardennais de l'Ardenne, du terrain rhénan du Brabant, des porphyres du Brabant, les couches supérieures au poudingue de Burnot, composées des schistes à calcéoles, du calcaire de Givet, des couches à Terebratula cuboïdes et des schistes de Famenne, des psammites du Condros, du calcaire carbonifère de l'étage houiller, de la brèche de Dourlen et des filons argileux. Un chapitre est consacré à la comparaison des terrains primaires du Boulonnais et de ceux de la Belgique.

(1) *Mémoire sur les terrains primaires de la Belgique des environs d'Avesnes et du Boulonnais*, par Jules Gosselet. — Paris, 1860.

Les conclusions du mémoire peuvent se résumer dans la classification suivante des terrains primaires de la Belgique, présentée par l'auteur. Ces terrains sont par lui rangés et synchronisés de la manière suivante, en allant de haut en bas.

Schistes et grès houillers.
Calcaires de Visé (calcaire carbonifère supérieur).
Calcaire de Tournai (calcaire carbonifère inférieur).
Dévonien supérieur. . { Psammites du Condros. / Schistes de Famenne et couches à Terebratula cuboïdes.
Dévonien moyen. . . . Calcaire de Givet.
Devonien inférieur. . . { Schistes à calcéoles. / Poudingue de Burnot (y compris l'ahrien de Dumont). / Grauwacke à Leptæna Murchisoni (Coblentzien). / Poudingue et schistes Gédiniens.
Schistes et quartzites avec porphyre (silurien moyen).

M. le docteur W. C. H. Staring (1) a publié la première partie d'une carte géologique très-détaillée de la Hollande, qui donne en même temps beaucoup de renseignements statistiques et météorologiques. Cette carte indique quelles sont les limites des terrains tertiaires, secondaires et primaires au-dessous du terrain diluvien qu'on suppose enlevé. Hollande.

M. Fr. de Hauer (2) a donné une description et une carte géologique de la Lombardie. Différentes observations ont été présentées à ce sujet par M. J. Omboni (3), qui, avec M. l'abbé Stoppani, pense qu'il y a lieu de modifier certaines limites de la carte et d'adopter une autre classification pour les terrains sédimentaires de cette partie de l'Italie. Voici, du reste, le tableau qui résume les deux classifications : Lombardie.

(1) *Schoolkaart voor de Natuurkunde en de Volksvlijt van Nederland*, 1860.
(2) *J. K. K. Reichsanstalt*, IX.
(3) *Atti della Società Geologica residente in Milano*, 1860, I.

TERRAINS STRATIFIÉS DE LA LOMBARDIE :

D'après M. Fr. de Hauer.		D'après MM. Stoppani et Omboni.	
Alluvions et diluvium. Terrain subapennin de Gaudino.		1 Terrains superficiels et pliocènes.	
Terrain subapennin de la Folla, etc. Eocène. — Roche nummulitique.		2 Terrain subapennin de Saint-Colomban, de la Folla, etc. 3 Miocène. — Grès supérieur de la Brianza. 4 ocène. — Roche nummulitique.	
Craie supérieure. — Poudingue de Sirone, calcaire à caitillus.		Terrain crétacé.	5 Calcaire à caitillus. 6 Poudingue de Sirone. 7 Grès psammitique.
Néocomien. — Grès à fucoïdes et partie de la Majolica.			Schistes calcaréo-marneux de diverses couleurs.
Jura. — Calcaires divers et partie de la Majolica.		Terrain jurassique.	8 Majolica. Calcaire rouge avec aptichus. Calcaire rouge ammonifère. 9 Groupe d'Arzo, de Saltrio, de Vigin. 10 Dolomie supérieure. 11 Banc madréporique. 12 Dépôt de l'Azzarola (véritables schistes de Kössen).
Lias { supérieur. — Calcaires divers avec ammonites. inférieur. — *Dachsteinkalk* et schistes de Kössen.		13 Lumachelle. 14 *a*. Schistes marno-charbonneux de Bene, Guggiate, Talleggio.	
Trias { supérieur { Schistes de Raibl. Calcaire d'Esino. Couches de Saint-Cassian. inférieur { *Muschelkalk*. Verrucano et schistes de Werfen.		Trias.	14 *c*, 15 *a* et 15 *c*. Groupe d'Esino et dolomie moyenne. 14 *b* et 15 *b*. Roches variées de Dossena et Gorno (schistes de Raibl) et roches fossilifères de cette localité. 16 et 17. Groupe de Perledo et de Varenna. 18 Dolomie inférieure (*Muschelkalk*).
Carbonifère. — Schistes noirs argileux, talqueux, etc.		Terrains paléozoïques.	Verrucano. Schistes phylladiens noirs, etc.

Palatinat.

M. Fournet (1) a publié un mémoire sur le Palatinat, qu'il a visité à plusieurs reprises. Il fait d'abord connaître les soulèvements qu'il réduit à trois systèmes principaux.

Il passe rapidement sur les roches sédimentaires qui comprennent le terrain silurien, dévonien, houiller inférieur et supérieur, le nouveau grès rouge et le grès vosgien.

Il s'occupe ensuite des roches éruptives, qui sont les syénites et les porphyres. La syénite se montre au Joegerthal; elle contient du quartz, deux feldspaths, de l'amphibole, du mica, du sphène; sa composition minéralogique est donc celle de la syénite des Ballons. Comme cette dernière, elle peut d'ailleurs passer au granite.

Le porphyre est bien caractérisé près de Kreutznach, et il est quartzifère. Le feldspath est vitreux et en petits cristaux; le mica y manque généralement et le quartz est en petits grains. La pâte est très-compacte, à cassure conchoïde, quelquefois aussi lisse que le verre. L'argilophyre se rencontre à Kreutznach, au mont Tonnerre, au Kœnisberg, à Schaumbourg.

M. Fournet décrit encore les porphyres bruns et les spilites. Son porphyre brun type est celui d'Oberstein, de Schaumbourg, de Duppenweiler; il est fortement teinté et contient de nombreux cristaux de labrador. Ce porphyre peut d'ailleurs passer insensiblement à une texture rude et terreuse. On observe, dans ce cas, de nombreuses cellules dans la pâte, et elles atteignent quelquefois de grandes dimensions; il constitue alors des variétés nommées porphyre amygdaloïde, spilite, mandelstein. On y exploite les agathes, qui sont très-abondantes dans tout le bassin entre Creutznach et Saarbrück. Lorsque le porphyre contient de l'augite, il passe au mélaphyre; il se montre alors intercallé dans le terrain houiller et dans le terrain de transition. Quelques variétés du porphyre brun se chargent de mica bronzé; d'autres, ayant une couleur verte, ont été nommées diorite, grunstein, cornéenne, aphanite, trapp, wake.

Comparant la densité des roches éruptives du Palatinat, M. Fournet observe que les porphyres bruns ont une densité

(1) *Recherches sur la constitution géologique des montagnes du Palatinat du Rhin et sur la formation des spilites agatifères*, par M. Fournet. — *Mémoires de l'Académie impériale de Lyon*, IX, 287.

voisine de celle des feldspaths, et il en conclut que, malgré leur tissu poreux et leur couleur foncée, ils ne peuvent être considérés comme mélaphyres. Examinant ensuite le magnétisme des porphyres du Palatinat et particulièrement de ceux qui contiennent des amygdaloïdes, il trouve qu'il n'est pas toujours assez fort pour dévier l'aiguille aimantée, et il le regarde comme nul. Cependant il est facile de constater et de mesurer ce magnétisme, et il n'a vraisemblablement pas été étranger à la séparation des minéraux qui remplissent les amygdaloïdes (1). M. Fournet pense d'ailleurs que ces roches ne sauraient être réunies aux roches volcaniques, et leurs caractères indiquent, en effet, qu'elles viennent, comme le trapp, se placer à la limite de ces dernières (2).

Bavière. M. C. G. Guembel (3) a publié une carte géologique, à l'échelle du 1/500.000, qui fait connaître la Bavière et les contrées voisines.

Hohenzollern. M. A. Achenbach (4) a donné une description et une carte géologique de Hohenzollern.

Haute Silésie. M. C. Mauve a publié, sous la direction de M. de Carnall (5), une carte géologique représentant les couches de houille dans le bassin de la haute Silésie, et comprenant Beuthen, Gleiwitz, Myslowitz, Nikolai. Elle est à l'échelle du 1/16.000 et les coupes sont au 1/3.200. Près des puits de recherche et des sondages se trouvent indiquées la profondeur, la puissance et l'inclinaison des couches de houille. Une feuille d'ensemble, à l'échelle du 1/80.000, a été exécutée d'après la carte géologique de MM. de Carnall et Hempel; elle représente bien la disposition des couches dont le tracé a été restauré sur certains points, et elle montre très-distinctement leurs élévations et leurs dépressions, ainsi que les relations mutuelles des failles qui traversent le bassin.

Tyrol. M. le baron de Richtofen (6) a donné une description des environs de Predazzo, Saint-Cassian et Seisser Alpe, dans le

(1) Delesse. *Ann. d. mines.* Pouvoir magnétique des minéraux et des roches, XIV, 429; XV, 497.
(2) Delesse. Origine des roches éruptives. *Bulletin de la Soc. géol.*, 1858 (2e s.), XV, 728.
(3) *Munich*, 1859.
(4) *Geognostiche Beschreibung der Hohenzollernschen Lande.*
(5) *Berg. Hütten. Zeit.*, 1860; 419.
(6) *Geognostische Beschreibung der Umgegend von Predazzo, etc.*

sud du Tyrol. Cette description est accompagnée d'une carte géologique.

Hongrie. M. Szabo (1) a publié une carte géologique des comtats de Neograd et de Pesth ; il admet les divisions suivantes :

1. Les alluvions sableuses du Danube.
2. Diluvium. — Le *læss* et les graviers erratiques.
3. Terrain néogène composé du haut en bas par : *a* schistes à congéries; — *b* schistes à cérites; — *c* Leitha-Kalk; — *d* sable, graviers néogènes avec lignites; — *e* grès de Naszal sans fossiles; — *f* argile inférieure.
4. Terrain éocène formé de calcaire nummulitique.
5. Terrain secondaire formé de dolomie et calcaire liasique (?) et de schiste marneux brun.

Le *basalte* forme des masses éruptives en plusieurs points. Le conglomérat et le tuf trachytique paraissent aussi en quelques endroits.

Les recherches de M. Stur (2) embrassent les comitats de Pressburg, de la Neutra, de Trentschin, d'Arva, de Thurocz et de Liptau. Après en avoir décrit l'orographie et avoir donné la liste de nombreuses altitudes mesurées barométriquement et trigonométriquement dans les petits Carpathes et dans les contrées voisines, il examine l'une après l'autre les formations suivantes :

— Granit et gneiss, micaschistes, etc.
— Schistes rouges et gris avec quartzites et grès quartzeux.
— Schistes de Kössen (lias) avec la même faune que dans les Alpes (Avicula contorta, etc...).
— Marnes tachetées (Fleckenmergel) avec Am. bisulcatus, A. Conybeari, A. Nodotianus, A. Murchisonæ, A. serpentinus, A. oxynotus, A. raricostatus, Posidonomya Bronni (?).

Le terrain jurassique supérieur au lias apparaît sous des couches beaucoup plus récentes dans les Carpathes. Il se divise pétrographiquement en trois zones :

1. Schistes de Vils représentés par des calcaires blancs ou roses à crinoïdes, très-riches en fossiles, surtout en brachiopodes.
2. Klippenkalk, calcaire fossilifère rouge reposant sur le précédent, avec Am. athleta, etc.
3. Schistes de Stramberg représentés par un conglomérat de calcaire, de coraux et de coquilles.

(1) *Explication d'une carte géologique détaillée de la région frontière des comitats de Neograd et de Pesth*, en 18 feuilles. (*Annuaire de la Société géologique autrichienne*, 1860, par Szabo.)
(2) *J. K. K. Reichsanstalt*, 1860, 9e année, 17. — *Rapport sur la constitution géologique des bassins de la Waag et de la Neutra* (*Hongrie*), par Dionys Stur.

Au-dessus du Jura se développe sous une immense épaisseur le terrain néocomien, où se mélangent les fossiles des deux zones admises par d'Orbigny. Il est impossible de scinder en deux la formation néocomienne des Carpathes. Les fossiles principaux sont : Aptychus (9 espèces), Belemnites dilatatus, Blain., Amm. cryptoceras d'Orb., A. asterianus d'O., A. Grasianus d'O., A. Emerici Raspail, A. Matheronii d'O., A. quadrisulcatus d'O., A. Duvallianus d'O., A. Nisus d'O. A. neocomiensis d'O., Crioceras Duvalii Lév., Toxoceras obliquatus d'O., Ancyloceras pulcherrimus d'O., Scaphites Ivanii Puzos, etc.

Au-dessus des marnes néocomiennes fossilifères viennent des dolomies et des calcaires sans fossiles, qui appartiennent encore au même terrain. On y trouve seulement des débris d'inocérames dans quelques lits marneux noirs.

M. Stur considère les grès de Vienne comme les équivalents synchroniques de ces dolomies et de ces calcaires.

Dans la partie moyenne de ces grès ont été trouvés : Ostrea columba d'Orb., Cardium hillanum Sow.

Au-dessus des bancs à Ostrea columba sont des conglomérats, où se rencontrent : Hippurites sulcata Defr., Inoceramus Cripsii Goldf.

On trouve en diverses localités associées à l'Ostrea columba des fossiles qui appartiennent à la faune de Gosau.

A la craie succède la formation éocène ; elle a deux facies différents : le premier s'observe dans la partie supérieure des grès de Vienne où se trouvent des nummulites. Le second facies s'applique à des conglomérats calcaires, des marnes et grès et des calcaires nummulitiques avec dolomies.

La formation néogène est très-peu étendue dans le bassin.

En comparant la série des formations dans les Carpathes et dans les Alpes, on peut faire les observations suivantes :

On ne trouve dans les Carpathes ni la grauwacke ni le trias, du moins le trias supérieur et le dachsteinkalk, dont les couches massives forment la partie principale du massif calcaire des Alpes. Dans les Alpes, les roches cristallisées sont dans la chaîne centrale, séparées par des zones calcaires longitudinales des dépôts les plus récents. Dans les Carpathes, ces trois termes font défaut. On ne trouve pas de véritable chaîne centrale, mais seulement quelques noyaux en forme d'îles, composés de roches cristallisées.

On en compte neuf dans le bassin de Waag et de la Neutra, la partie sud des petits Carpathes, les montagnes d'Inovec, celles de Tribec, la partie cristalline des montagnes de Strazow, celles de Zjar, de Mincow et de Klein-Kriwau, une partie de la vallée de Lubochna, les montagnes de Niznje Tatri, le haut Tatra.

M. F. von Hauer (1) a exploré les environs de Kronstadt avec MM. de Richtofen et A. Bielz. Près de la mine Neu-Sinka des porphyres anciens enclavés dans le micaschiste, paraissent en relation avec un riche gisement de plomb. Le mélaphyre se montre dans la vallée de Komana. Le trachyte forme les chaînons sud de la grande chaîne de la Margitta. Le basalte et des tuffs basaltiques occupent aussi un territoire assez étendu aux environs de Kronstadt. Kronstadt.

M. V. Raulin (2) a commencé à publier une description de l'île de Crète, sur laquelle on manquait jusqu'à présent de documents géologiques. Il établit les divisions suivantes dans les terrains de cette île. Ile de Crète.

Terrains d'alluvion. . .		Alluvion et détritus. — [Diluvium.]
Id.	tertiaires . . .	Subapennin. — [Eocène.]
Id.	crétacés. . . .	Calcaires avec rudistes. — [Macigno et calcaires phylladiens avec jaspe].
Id.	de transition.	Anagénites. Serpentines, diorites et pegmatites antérieures aux terrains crétacés.
Id.	primitifs.. . .	Talschistes et porphyres intercalés.

La minéralogie de l'île de Crète est d'ailleurs très-simple ; elle se réduit à peu près aux substances qui constituent habituellement les terrains stratifiés auxquelles il faut ajouter les espèces minérales qui forment les roches talqueuses, les diorites, les serpentines.

Talschistes. — M. V. Raulin s'occupe d'abord des terrains qu'il nomme primitifs, qui, dans l'île de Crète, sont représentés par des talschistes. Ils lui paraissent résulter du passage de l'état liquide à l'état solide des parties superficielles du globe pendant la première période de son refroidissement. En Crète, le talschiste est seul développé ; le gneiss fait complétement défaut, et le micaschiste ne se montre qu'en assises subordonnées sur un ou deux points. Quant au talschiste, il est vert, gris ou noirâtre, tantôt schistoïde, tantôt se divisant en fragments rhomboïdaux. Il est aussi quartzeux et même glandulaire. Quelquefois il contient du fer carbonaté. Certaines

(1) *N. Jarb. v. Leonhard*, 1861 ; 96. — *J. K. K. Reichsanstalt*, X, 106. Gegend um Kronstadt.

(2) *Description physique de l'île de Crète.* (Extrait de la *Société linnéenne de Bordeaux*, 1859, 2e partie, 463.)

variétés sont même calcaires. Le talschiste est d'ailleurs associé à du quartzite, à de la protogyne et à de l'amphibolite. Il faut mentionner encore le calcaire qui est grenu ou bien compacte et qui présente une couleur très-variable. Il peut contenir du mica et passer au cipolin. C'est ce qu'on observe dans la plaine du Katharos, où il est en outre traversé par des veinules de quartz, de chaux carbonatée et de fer spathique. Enfin du gypse blanc et grenu forme encore des amas dans le talschiste; à Roumata il est grenu, associé à un calcaire celluleux, qui de même que le gypse renferme des fragments d'un calcaire magnésien gris et friable.

Les talschistes et les roches subordonnées sont fréquemment traversés par des filons de quartz; ce caractère des talschistes est important parce que d'après M. V. Raulin il permet de les distinguer des schistes placés à la partie inférieure des terrains crétacés pour lesquels cela n'a pas lieu. Parmi les minéraux qui accompagnent le quartz en filons, on peut citer l'amphibole verte rayonnée et le fer spathique brun jaunâtre.

Serpentines, diorites, etc. — Les serpentines de Crète sont plus anciennes que les parties inférieures du terrain crétacé qui en renferment des cailloux; mais on ne peut préciser davantage l'époque de leur apparition, car l'âge des talschistes dans lesquels elles sont enclavées n'est pas connu. Elles sont généralement dépourvues de diallage bronzé et elles ont beaucoup d'analogie avec celles de Tinos qui ont été observées par M. Virlet. Des diorites accompagnent les serpentines. Il existe encore dans l'île de Crète des roches porphyriques associées à des spilites (wackes), et il est possible qu'elles soient plus anciennes.

A Kritsa, des serpentines et des diorites à grain fin comprennent des enclaves de calcaire saccharoïde et sont traversées par de grands filons de pegmatite micacée. Près de Kalami, les talschistes renferment de grands amas de serpentine et des spilites brun rougeâtre, à amandes calcaires; on y trouve aussi des diorites et des amphibolites compactes. Des porphyres et des spilites stratifiés se rencontrent encore dans les talschistes du pays de Sitia.

Les accidents minéralogiques que présentent ces roches sont, dans quelques serpentines des lamelles, de diallage et des veinules asbestiformes; dans les diorites des nodules de feldspath et de fer oligiste écailleux ainsi que de l'asbeste;

dans les porphyres de l'épidote; dans les spilites également de l'épidote ainsi que des amandes de chaux carbonatée et de terre verte.

Les talschistes, les serpentines et les roches associées donnent un sol imperméable à une certaine profondeur; par suite on y rencontre beaucoup de petites sources qui y permettent la végétation, tandis que cela n'a pas lieu pour les roches calcaires qui sont fendillées et perméables; aussi, à distance, la végétation révèle-t-elle déjà les différences dans la nature des terrains.

M. A. Gaudry (1) a donné une description géologique de l'île de Chypre. Les roches éruptives occupent à peu près le quart de la surface de l'île, et elles y constituent les monts Olympes. Ces roches sont surtout l'euphotide et la serpentine. Comme en Toscane, elles sont traversées par de la silice à l'état de jaspe accompagnée de minerais métalliques. Il y a aussi des zéolithes, notamment l'heulandite, la stilbite et l'hydrolite (gmélinite). L'éruption de ces roches de l'île de Chypre paraît devoir se placer entre le tertiaire moyen et supérieur, comme la seconde éruption des roches serpentineuses de la Toscane. D'après M. V. Raulin, dans l'île de Crète, les serpentines seraient, au contraire, antérieures aux calcaires crétacés à hippurites. Île de Chypre.

M. G. Hartung (2) a donné une description du groupe des Açores qui se compose de neuf îles entièrement volcaniques. Les formes de leurs montagnes sont généralement celles des Canaries et de Madère. Généralement leur partie haute est comprise entre 500 et 1.000 mètres; elle ne dépasse pas 1.200 mètres. *Afrique.* Îles Açores.

Parmi les éruptions volcaniques les plus célèbres, on peut citer celle de Saint-Michel entre 1444 et 1445; les tremblements de terre de cette même île qui, en 1522, ont été accompagnés de déjections boueuses, ainsi que l'éruption qui a détruit le sommet du Monte Volcao et qui a produit le cratère du Logoa do Fogo en 1655; l'éruption de 1572 à l'île Pico et celle de l'île Saint-Michel en 1652; ensuite les éruptions de

(1) *Comp. rend.*, XL, 229, 1859. Rapport sur un mémoire de M. A. Gaudry, intitulé *Géologie de l'île de Chypre*, par M. d'Archiac.

(2) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1861; 221. — G. Hartung. *Die Açoren in ihrer ausseren Erscheinung und nach ihrer geognostischen Natur geschildert, mi einer Beschreibung der fossilen Reste* von H. G. Bronn.

Pico en 1720, de Terceira en 1761, et de Saint-George en 1808; en 1811, près de Saint-Michel, apparut l'île Sabrina, qui fut ensuite engloutie par les flots.

Les roches volcaniques des Açores sont le basalte, le trachyte, le trachydolérite. Elles sont pauvres en minéraux accessoires, et les zéolithes y manquent presque entièrement.

Parmi les laves basaltiques il en est qui sont compactes, gris noirâtre foncé, et alors elles ont peu d'olivine ou d'augite. D'autres qui sont bleuâtres, à structure grenue, en renferment au contraire beaucoup.

Les laves trachytiques renferment plus souvent de l'orthose vitreux (sanidine) que de l'oligoclase. Une des variétés les plus répandues est même en grande partie formée par le sanidine. Quelquefois elles se réduisent à une pâte homogène. Elles sont d'ailleurs accompagnées par du tuf, du trass, de l'obsidienne et de la ponce. Enfin, une série de roches formant le passage entre le basalte et le trachyte contiennent à la fois de l'augite, du péridot, du sanidine, du labrador.

A Graciosa, on voit se succéder, dans l'ordre ascendant, des laves formées de trachyte, de trachydolérite et de basalte. A Corvo, les assises inférieures sont trachytiques; puis elles deviennent basaltiques, trachydoléritiques et de nouveau basaltiques. Les alternances de ces différentes laves sont très-remarquables aux Açores, et comme le remarque M. Hartung, elles se sont continuées sur la même place pendant une très-longue durée.

L'examen des débris d'êtres organisés provenant de l'île Sainte-Marie a montré à M. H. G. Bronn que les couches inférieures de cette île datent de l'époque tertiaire; et depuis, un soulèvement a relevé les montagnes qu'elles forment, d'un cinquième de leur hauteur actuelle au-dessus du niveau de la mer. Les mollusques trouvés à l'état fossile sont surtout des pecten et des cardium. Sur 30 espèces, il y en a 13 qui ont été observées dans d'autres contrées et 10 qui sont nouvelles; du reste, elles paraissent se rapporter à l'étage que M. Mayer a nommé mayencien, c'est-à-dire au miocène supérieur.

Asie.

Steppe des Kirghizes.

Deux voyageurs russes, MM. Severstoff et Borszcrov (1), signalent les terrains suivants dans la steppe des Kirghizes;

1° Terrain permien formé de grès rouge avec gypse et sel gemme;
2° Terrain jurassique, — marnes blanches à gryphées arquées (?) et marnes noires pyriteuses;
3° Grès vert avec marnes, contenant des bélemnites;
4° Craie blanche;
5° Terrain tertiaire formé de grès rose avec huîtres, de conglomérat coquillier, nommé calcaire Caspien et de couches marneuses avec Ostrea, Cerithium, Turritelles, Cardiacées. Les formations les plus récentes consistent en alluvions, en dunes sableuses et en produit des salses.

(1) *Bulletin de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg*, 1860, II, 195. N. Severstoff et G. Borszczov. *Observations géologiques faites dans la partie occidentale des steppes des Kirghizes.*

M. le général E. Hoffmann (1) a publié un ouvrage dans lequel il fait connaître l'oural septentrional et la chaîne Pai-Khoï. L'exploration a porté sur la partie septentrionale de l'Oural, c'est-à-dire sur celle qui s'étend depuis le district des mines de Petropavlovsk jusqu'à la mer Glaciale. La détermination des fossiles recueillis par l'expédition a été faite par M. de Keyserling.

Oural.

Une carte géologique de l'Oural méridional a été présentée par M. B. von Cotta à la Société des mines de Freiberg, de la part des auteurs MM. Meglitzky et A. Antipoff (2). Les schistes cristallins forment l'axe principal de la chaîne; ils sont recouverts des deux côtés par le terrain silurien. Le dévonien est à peine représenté; mais sur les deux versants, on trouve le calcaire carbonifère et l'analogue du terrain houiller. Le terrain permien ne s'observe que sur le versant ouest; tandis qu'à l'est, du côté de l'Asie, le terrain tertiaire, qui forme des steppes repose immédiatement sur le carbonifère. Un petit lambeau de craie mérite encore d'être signalé.

Les roches éruptives sont surtout la serpentine, le granite, le porphyre, la diorite. A l'est et dans la steppe, beaucoup de filons de quartz s'élèvent comme des murs au milieu du terrain tertiaire; ils sont un peu aurifères, et l'or qui est exploité en cet endroit dans le terrain de transport paraît provenir de leur destruction. Ces filons courent parallèlement à la chaîne de l'Oural, c'est-à-dire du sud au nord, et il en est généralement de même pour les autres filons métallifères de cette contrée.

(1) *Instit.*, 5 janvier 1859; 7.

(2) *Berg. Hütten. Zeit.*, 1860; 495. Carte de l'Oural méridional en 4 feuilles avec 1 vol. de texte en langue russe.

Ceylan.

Dans une lettre adressée à M. Beyrich, M. de Richthofen(1) donne, d'après ses propres recherches et d'après celles de M. Caley, un aperçu de la géologie de l'île de Ceylan. Tandis que la partie montagneuse de l'île est formée de schistes cristallins, la partie plane présente, au contraire, des dépôts récents. Ce qui domine dans les schistes cristallins, c'est le gneiss qui est remarquable par la présence presque constante de la chaux carbonatée; cette dernière s'y trouve disséminée d'une manière tellement intime que M. de Richthofen la compare à l'eau qui remplirait une éponge. En outre, le gneiss montre une tendance toute spéciale à la décomposition qui s'opère sur de grandes étendues : les indigènes l'appellent alors *cabuk*, et les géologues indiens latérite; c'est d'ailleurs l'une des roches les plus importantes de Ceylan.

Dans la péninsule Jaffna, vers le nord, on trouve une roche calcaire, jaunâtre, ressemblant extraordinairement à l'éocène de l'Asie occidentale; et ce qui paraît le confirmer, c'est qu'au-dessus vient un sable blanc et calcaire renfermant des cérites. Parmi les dépôts récents, il faut signaler des conglomérats, du grès caverneux, surtout des bancs de coraux. On observe ces coraux non-seulement près de la côte et au-dessus du niveau des plus hautes marées, mais même jusque dans la partie plate à l'intérieur de l'île, particulièrement au nord. Il y a aussi du silex, ayant une origine lacustre, et contenant les débris de mollusques terrestres vivant encore maintenant dans l'île. D'après la tradition, l'île de Ceylan aurait alternativement subi des soulèvements et des affaissements, et c'est aussi ce que l'observation géologique vient confirmer dans certaines limites. Il ne paraît pas que, depuis les temps les plus anciens, cette île ait été plongée sous la mer d'une manière permanente; mais la présence de bancs de coraux dans son intérieur indique bien évidemment qu'elle s'est élevée. D'un autre côté, sa faune et sa flore qui ont les plus grands rapports avec celles de l'Inde méridionale portent à croire qu'elle lui était d'abord réunie. A une certaine période, elle a dû subir un affaissement. Toutes les observations montrent d'ailleurs, que dans la période actuelle, elle éprouve au contraire un soulèvement.

(1) *Zeit. d. d. geol. Ges.*, XII, 523.

Java.

M. le docteur F. Junghuhn (1) a publié une carte géologique de l'île de Java, sur laquelle sont figurés les volcans avec l'indication de leurs éruptions et de leurs principales coulées de laves.

Formose.

M. F. de Richthofen (2) a donné une description de la côte nord de l'île Formose, dans la mer de Chine. Vers l'intérieur de l'île, il existe des roches anciennes et du trachyte; mais près de la côte il n'y a guère que du trachyte avec les conglomérats et les tuffs stratifiés qui l'accompagnent si fréquemment. Près du port de l'île de Kilung se trouve une exploitation de combustibles qui a déjà été visitée par MM. Jones et Preble. Ces combustibles occupent une grande étendue, sont de bonne qualité, et présentent plusieurs couches exploitables ayant $0^m,35$ à 1 mètre de puissance; ils sont intercalés dans un grès tuffacé, et appartiennent sans doute au terrain tertiaire. Le soufre est l'objet d'un commerce important dans les ports au nord de Formose, et son gisement était tout à fait inconnu jusque dans ces derniers temps; mais M. Svinhoe qui a visité, en 1858, les mines dans lesquelles on l'exploite, a donné sur ce sujet des renseignements très-curieux. C'est dans une vallée qui paraît s'être ouverte par déchirement que se trouve le soufre. Sur quelques points la vapeur d'eau se dégage avec un bruit terrible, comme si elle s'échappait d'une machine à haute pression. Dans d'autres endroits le soufre liquide forme de petites mares dans lesquelles il suffit d'aller le puiser pour pouvoir le livrer au commerce. A l'extrémité de la vallée coule d'ailleurs un petit ruisseau boueux qui contient du soufre à l'état de schlamm.

Sur la côte nord de Formose et à Kilung, M. de Richthofen signale l'existence de dépôts récents qui indiquent un soulèvement lent de la côte. Il en est encore de même aux îles Liu-kiu et Kiu-siu.

Australie. Nouvelle-Galles du Sud.

M. Clarke (3) a découvert en Australie, dans le Queensland, à une distance de 700 ou 800 milles vers le nord, une formation qui jusqu'à présent était inconnue dans ce pays. Elle contient des pentacrinites, des belemnites et des dents de poissons

(1) *Breda*, 1855.
(2) *Zeit. d. d. geol. Ges.*, XII, 532.
(3) Extrait d'une lettre de M. Clarke à M Delesse. — Saint-Léonhard, Nouvelle-Galles du Sud, 21 juin 1861.

très-petites, notamment d'oxyrhina; elle renferme aussi des peignes, des hinnites, des mytilus, des térébratules, des rhynconelles; elle paraît devoir être rapportée à l'époque crétacée.

Nouvelle-Zélande.

M. Hochstetter (1) a exploré diverses parties de la Nouvelle-Zélande visitée déjà par MM. Dieffenbach et Dana. Dans la province d'Auckland, il a distingué les dépôts suivants :

1. *Schistes inférieurs* quartzeux, constituant des chaînes de montagnes élevées de plus de 500 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ils contiennent des minerais d'or, de cuivre, de manganèse. Ils paraissent être siluriens, mais on n'y a pas trouvé de fossiles.

2. *Dépôts crétacés.*
   - *a. Étage inférieur.*
     - α *Terrain* à combustibles le long de la côte ouest, au sud de la rivière Waikato. Les lits de houille peu épais sont encaissés dans des grès fossilifères, des marnes et des argiles schisteuses.
     - β *Marne* à bélemnites de couleur grise, renfermant sur les bords du Waikato un grand nombre de bélemnites de la famille des Caniculés et à South-Head des exogyres et des térébratules.
   - *b. Étage moyen.*
     - α *Sables verts* à cyprines et à huîtres de grande taille.
     - β *Calcaires en plaques* à coraux et à foraminifères, riches en fossiles, surtout en grandes térébratules, sur la côte ouest au sud du Waikato et dans les montagnes du Humca, à l'est d'Auckland.
   - *c. Étage supérieur.*
     Grès en bancs épais, parfaitement semblables au planer et au quader sandstein de Bohême; en général, peu fossilifères, à échinites et térébratules, sur la côte ouest au sud du Waikato.

3. *Dépôts tertiaires.*
   - *a. Grès* et *marnes argileuses* de Waitemato, à bancs horizontaux tout à l'entour de la rade d'Auckland ou de Waitemato; peu fossilifères, sauf quelques couches à foraminifères et à bryozoaires, et quelques fragments de bois flotté passés à l'état de lignite.
   - *b.* Couches de lignite de Drury. Ce lignite, qui est de bonne qualité et qui va être exploité par une compagnie, présente une épaisseur moyenne de 6′ qui se décompose ainsi : lignite feuilleté, 1′; argile, 2″; lignite de bonne qualité 1 1/2′; schiste bitumineux, 6″; lignite de la meilleure qualité, 2 1/2′.

4. Formations *quaternaires* et *volcaniques.*
   - *a.* Formation *lignitifère* des Manukau Flats à puissants dépôts de *silice terreuse* tout autour du port de Manikau, au sud d'Auckland.
   - *b. Argiles* bigarrées à conglomérats, probablement *tufs* trachytiques décomposés, sur le versant est de la chaîne longeant la côte entre le Manukau et le Waitakère, à l'ouest et au nord-ouest d'Auckland.

(1) *Instit.*, 28 décembre 1859; 413. — *Neues Jahrbuch*, 1860; 476.

   - *c. Brèche trachytique* entrecoupée de nombreux filons trachytiques et phonolithiques, formant une chaîne de rochers escarpés le long de la côte ouest du Manukau North-Head jusqu'au Waitakère.
   - *d. Brèche* et *conglomérats basaltiques* à massifs de *basaltes éruptifs* sans traces distinctes de cônes ou de cratères, sur les deux bords du cours inférieur du Waikato.
   - *e. Volcans* qui se sont probablement éteints dans le cours de l'époque historique. Ces volcans, très-curieux à étudier à raison de leur configuration complète et normale, se trouvent au nombre de plus de cinquante dans le seul district d'Auckland; le plus considérable d'entre eux ne s'élève pas à plus de 300 mètres au-dessus du niveau de la mer.

5. *Dépôts récents* et en voie de formation.
   - *a.* Alluvions à *débris ponceux* sur le Waikato.
   - *b. Dunes* de sable mouvant à fer oxydulé magnétique sur la côte ouest.
   - *c.* Dépôts de *sable coquillier*; formations littorales *soulevées* ou en voie de soulèvement.

Tahiti.

M. Kulczycki (1) a donné quelques renseignements sur la constitution géologique de l'île de Tahiti. Elle comprend trois régions, qui ont déjà été signalées par M. C. Darwin et qui sont bien distinctes par leur végétation. A une première période éruptive appartient la formation des cratères de Tahiti et de Taïarapoo. Pendant la deuxième période, le sol a été soulevé et il s'est produit un système de vallées rayonnantes. Le niveau de la mer, pendant la première période, est sans doute indiqué par une ceinture de coraux qui entoure l'île au-dessous de son sommet et à une hauteur de 3.800 pieds (2).

Les roches dominantes sont le basalte compacte avec péridot, les laves poreuses avec des zéolithes, et des trachytes qui se montrent vers le sud, ainsi qu'à l'est de Taïarapoo. Ces roches se décomposent quelquefois et donnent un kaolin impur. Le long des côtes, on observe des conglomérats volcaniques et des cendres qui sont plus ou moins stratifiées ou mélangées avec des débris de coraux et avec du sable coquillier. La plage est couverte par des coraux blancs ou par du sable volcanique noir qui sont déposés par les eaux de la mer et par des eaux douces. La température des sources est de 20° à 21°, tandis que la température moyenne de l'air est de 26°. On a constaté l'existence d'une source qui est ferrugineuse et qui dégage de l'acide carbonique.

(1) *Geolog. Society*, XVI, 1860; 18. Miscellaneous.
(2) Sir Charles Lyell. *Principles of Geology*, chap. XXVII, XXXII, I.

Amérique septentrionale. Archipel arctique.

Le capitaine M' Clintock, dans les voyages qu'il a faits, de 1848 à 1859, à travers l'archipel Arctique, a recueilli des collections géologiques qui jettent quelque lumière sur la constitution de cette partie de notre globe, qui est si peu connue et si difficile à explorer. Ces collections, déposées au Muséum de la Société royale de Dublin, ont été examinées par M. Samuel Haughton (1), qui a même essayé de donner une carte géologique de l'archipel Arctique.

Les formations observées sont :

1. Les roches granitiques et celles qui leur sont habituellement associées. — 2. Le terrain silurien supérieur. — 3. Le carbonifère. — 4. Le lias. — 5. Les dépôts superficiels.

1. Les roches granitiques constituent essentiellement la partie nord du Groënland, le côté est de la baie de Baffin, la contrée à l'est de l'île North-Devon, qui forme une portion de la côte ouest de la baie de Baffin, le côté nord à l'entrée du détroit de Lancastre. Indépendamment du granite, on a observé de la syénite, du gneiss, du micaschiste et des schistes cristallisés métamorphiques.

2. Les roches siluriennes reposent partout sur les roches granitiques, et à leur base se trouve un grès rouge remarquable qui se transforme en grès grossier vers sa partie inférieure. Au-dessus de ce grès vient un calcaire ferrugineux, qui passe bientôt à un calcaire terreux, vert grisâtre, lequel est abondant en fossiles, ou bien accidentellement à un calcaire crayeux, qui n'est généralement pas fossilifère. Le calcaire silurien offre un plongement variant de 0° à 5° nord-ouest, et il forme quelquefois des plaines basses qui ont été nivelées par l'action de la glace. Son aspect rappelle tellement celui du calcaire de Dudley, qu'une personne, même étrangère à la géologie, en est immédiatement frappée. La ressemblance avec les couches du silurien supérieur s'observe jusque dans la structure en grand. Ainsi les alternances de calcaire dur avec les plaquettes tendres qui sont si caractéristiques pour le silurien supérieur de l'Angleterre et de l'Amérique, donnent aux falaises de Port-Léopold une apparence particulière qui a été bien décrite par les navigateurs des mers polaires et notamment par le lieutenant Beechey. Par suite de la destruction inégale des falaises, le calcaire dur reste en saillie.

(1) *The natural history review and Quarterly Journal of science*, avril 1860, n° XXVI, 139. — Appendix to Captain M'Clintock. *Journal of the Voyage of the Fox.*

Les points dans lesquels le terrain silurien supérieur a été reconnu à l'aide des fossiles rapportés par le capitaine M'Clintock, sont: la baie Garnier (lat. 74° N., long. 92° O.); le Port-Léopold; l'île Griffith; l'île Beechey; l'île Cornwallis; le cap York, dans le détroit de Lancastre; la baie de la Possession; la baie du Dépôt, dans le détroit Bellot; le côté est et ouest de Boothia; le point de la Furie; la terre du prince de Galles et la côte ouest de l'île du Roi-Guillaume. On peut signaler parmi les fossiles :

Cromus arcticus.	Calamopora gothlandica.
Orthis elegantula.	Calamopora.
Atrypa phoca.	Catenipora escharoïdes.
Atrypa reticularis	Stromatopora concentrica.
Pantamerus ronchidium.	Loxonema Salteri.
Cyatophyllum helianthoïdes.	Favistella Franklini.
Cyatophyllum cæspitosum.	

3. Au-dessus du terrain silurien supérieur vient une série très-remarquable de grès blancs, à grain fin, contenant des lits nombreux d'une houille très-bitumineuse et quelques rares fossiles marins. Dans les différentes parties de l'archipel Arctique, ces lits renferment une espèce d'Atrypa garnie de côtes qui paraît être identique avec l'atrypa fallax du schiste carbonifère d'Irlande. Au-dessus du grès, on trouve des lits calcaires, de couleur bleue, contenant en grande abondance les coquilles marines qui, dans toutes les parties du monde, caractérisent le mieux le terrain carbonifère. La ligne de jonction de ces dépôts avec le silurien, sur lequel ils reposent, est dirigé de nord-est à est-nord-est. Comme le terrain silurien, le carbonifère forme des lits bas et plats qui s'élèvent quelquefois en falaises, mais qui n'atteignent jamais la hauteur des roches siluriennes dans le détroit de Lancastre.

La houille, le grès, l'argile avec fer carbonaté argileux (sphœrosidérite), l'hématite brune, ont été trouvés le long d'une ligne E.-N.-E., depuis l'île Baring jusqu'au sud de l'île Melville, à l'île Byam Martin et toute dans l'île Bathurst.

C'est à Parry qu'on doit la découverte de la houille dans ces îles; mais ce sont seulement les expéditions d'Austin et de Belcher qui ont bien mis en évidence toute son extension. Le

combustible de l'île Disco à l'ouest du Groenland, est tertiaire; toutefois, à cette exception près, celui qui provient des régions arctiques appartient au terrain houiller, et présente des caractères constants qui sont assez remarquables. Il a une couleur brune et une structure ligneuse, et entre des lits minces de lignite, il offre des veines parallèles de jayet noir et éclatant qui sont aussi minces qu'une feuille de papier. Sous le marteau il résonne à la manière du bois. Il brûle avec beaucoup de fumée et une flamme brillante; et il serait éminemment propre à la fabrication du gaz de l'éclairage. Du reste, il ressemble assez à certaines variétés du schiste houiller de l'Écosse qui, sous le nom de Torbanite, est employé à cet usage.

Parmi les fossiles observés dans le terrain carbonifère, mentionnons:

Productus sulcatus.	Atrypa fallax.
Spirifer articus.	Lithostrotion basaltiforme.
Terebratula aspersa.	

4. Il y a plusieurs années, le lieutenant Anjou, de la marine russe, annonça qu'il avait trouvé des ammonites dans les falaises qui bordent au sud l'île de la Nouvelle-Sibérie, sur la côte nord d'Asie, à la latitude 74° N. Bien que ce fait eût été publié dans le journal de l'amiral Wrangel, il attira peu l'attention; et cependant il fut en quelque sorte confirmé depuis par la découverte de fossiles semblables que le capitaine M'Clintock a faite sous la latitude 76° 20′ N., à Point Wilkie et à l'île Prince-Patrick. Dans sa description, le capitaine M'Clintock annonce qu'il a trouvé à Point Wilkie, plusieurs ammonites, un grand nombre de bivalves et un os d'ichthyosaure. Il regarde Point Wilkie comme un lambeau de lias qui est supporté par du grès et du calcaire carbonifère présentant les mêmes caractères qu'à l'île Melville. M. S. Haugton a nommé Ammonites M'Clintocki une ammonite provenant de Point Wilkie; elle offre de l'analogie avec l'ammonite concavus et avec une espèce qui est commune dans le lias supérieur de Larzac dans les Cévennes. Ajoutons encore que le capitaine sir Edward Belcher a trouvé une vertèbre d'un reptile enaliosaurien du lias à l'île Exmouth par 77° 12′ nord; que le capitaine Sherard Osborn a trouvé aussi des vertèbres brisées de teleosaurus sur la colline du Rendez-Vous.

5. Dans l'archipel arctique, lorsque c'est la terre et non la glace qui se montre à la surface du sol, elle n'est pas formée par des dépôts épais d'argile ou de gravier, comme ceux du nord de l'Europe qui ont été rapportés par les géologues à l'époque glaciaire. Cependant le capitaine M'Clintock a réuni des preuves évidentes d'un transport de drift dont il est même possible d'indiquer la direction. Ainsi, il a trouvé à Léopold Harbour et à l'île Bathurst un granite qui est identique avec celui du côté ouest de Nord-Sommerset; il l'a même reconnu également dans deux localités, l'une au nord-est et l'autre au nord-ouest de Nord-Sommerset. On peut donc croire que ce granite a été transporté dans deux directions vers le nord. De plus, les blocs granitiques de Port Léopold sont à 100 milles au nord-est du granite en place duquel ils proviennent, et ceux de la baie Graham Moore ont été transportés à 190 milles vers le nord-ouest. Au cap Rennell (Nord-Sommerset), un bloc énorme de ce même granite a encore été rencontré, et il confirme un transport général du sud vers le nord.

D'un autre côté, le capitaine sir Robert M'Clure a constaté qu'il existe de nombreux troncs de pins dans les ravins de la côte ouest de l'île Baring. Les mêmes débris végétaux ont été trouvés par le capitaine M'Clintock et par le lieutenant Mecham à l'île Prince-Patrick, et au détroit Wellington par sir Edward Belcher. Sur la côte de la Nouvelle-Sibérie, le lieutenant Anjou a signalé de plus une falaise argileuse contenant des troncs d'arbres, snsceptibles d'être employés comme combustibles. L'opinion des observateurs qui ont visité ces contrées, est que ces végétaux se sont développés à la place où on les trouve maintenant; et le capitaine Osborn en mentionnant l'opinion de sir Roderick Murchison, que les troncs auraient été transportés, ajoute avec raison qu'une mer assez libre de glace pour que leur transport du sud fût possible, indique déjà un climat qui leur permettait de se développer dans le voisinage de leur gisement actuel. Des considérations remarquables qui ont été présentées par M. Hopkins, viennent encore corroborer les faits précédents (1).

M. S. Haughton remarque d'ailleurs que l'existence de ces arbres est intimement liée à celle des mammouths, qui ont été

(1) *Geolog. Society*, VIII, 14.

trouvés en Asie et en Amérique. On sait, en effet, que le mammouth était protégé par une fourrure chaude et qu'il pouvait se nourrir d'une plante vivant encore maintenant dans le nord de la Sibérie ; aussi, la théorie du transport, que l'on supposait d'abord nécessaire pour expliquer l'existence de ces débris, est-elle maintenant à peu près abandonnée par les géologues. D'autres théories de transport n'ont eu également qu'une existence éphémère, et n'ont engendré que des hypothèses trompeuses : telle est, d'après M. S. Haughton, la théorie qui attribue au transport la formation de la houille. Des recherches plus complètes pourront faire voir que l'époque glaciaire avait un caractère bien différent dans l'Europe et en Asie ou en Amérique; tandis que des glaciers couvraient les flancs du Snowdon et de Lugnaquillia, des forêts de pins croissaient au contraire dans l'île Parry, et les éléphants de la Sibérie peuplaient des rivages baignés par une mer qui ne charriait pas de glaces.

D'après M. Haughton, tous les faits observés démontrent jusqu'à l'évidence une submersion de l'archipel Arctique qui aurait eu lieu à une période géologique très-récente. Car on trouve à une grande hauteur dans cet archipel des coquilles qui habitent encore maintenant les mers voisines; ainsi, M'Clure a rencontré la Cyprina islandica au sommet des montagnes Coxcomb dans l'île Baring, à une hauteur de 170^m au-dessus de la mer; Parry signale également des coquilles marines à l'île Martin; en outre le docteur Walker a observé à Port-Kennedy les coquilles suivantes qui sont à une hauteur variable pouvant s'élever jusqu'à 170 mètres.

Saxicava rugosa.	Cardium.
Tellina proxima.	Mya truncata.
Astarte arctica (Borealis).	Buccinum undatum.
Mya uddevallensis.	Acnæa testudinalis.
Cyprina islandica.	Balanus uddevallensis.

Il a même trouvé dans ce gisement une portion d'un os palatin d'une baleine, à une hauteur de 50 mètres.

En résumé, il y aurait donc eu une submersion de l'archipel Arctique, antérieure à l'époque à laquelle ses îles étaient peuplées de forêts de pins, tandis que maintenant les débris de ses forêts sont à plus de 50 mètres au-dessus des hautes marées.

Sir W. Logan (1) a publié avec les géologues du Geological Survey du Canada, MM. Sterry Hunt, James Richardson, A. Murray, une série de mémoires qui font bien connaître une grande partie de cette contrée. Un bel atlas donne la topographie des lacs et des rivières entre le lac Huron et la rivière Ottawa. Canada.

M. Ch. H. Hitchcock (2) a donné une carte et une description géologique de l'île Aquidneck (Rhode-Island). Les divisions qu'il établit sont : 1° granite et protogine ; 2° roches stratifiées inférieures consistant en grès talqueux qui renferment souvent beaucoup de sables et de cailloux ; 3° schistes métamorphiques; 4° conglomérats ; 5° terrain houiller ; 6° calcaire magnésien; 7° veines de serpentine; 8° drift et alluvions. La plupart de ces roches datent de l'époque carbonifère ; cependant celles de la base doivent être plus anciennes, et quant au granite, il s'est vraisemblablement formé à l'époque permienne. Ile Aquidneck.

Dans un troisième rapport sur la Caroline du Sud, M. O. Lieber (3) traite particulièrement des districts Grenville et Pickens. Il donne des renseignements sur la topographie de cette région, ainsi que sur la distribution des roches métamorphiques et éruptives. Il s'occupe de l'itacolumite, des roches qui lui sont associées et de leur relation avec l'or. Ces roches sont le sideroschiste, qui est en grande partie formé de fer spéculaire; l'itabirite, qui consiste en quartz grenu avec du fer oxydulé et un peu de fer spéculaire; la catawbarite, qui serait un schiste talqueux contenant beaucoup de fer oxydulé. Il y a, en outre, des conglomérats d'itacolumite et des calcaires. Diverses raisons portent à croire que l'itacolumite et les roches associées proviennent du métamorphisme des terrains paléozoïques. Caroline du Sud.

L'isthme de Tehuantepec est, d'après M. Durocher (4), surmonté par le plateau de Tarifa, formé de roches anciennes et éruptives, et situé à 200 mètres d'altitude ; dans le Guatémala, les plateaux s'élèvent à 1.200 et 1.500 mètres ; ils sont formés de Amérique centrale.

(1) *Geological Survey of Canada.*

(2) *Procedings of the American association for the advancement of science*, 1860; 112.

(3) *Americ. J.*, 1859, XXVIII, 148.—*Third Report on the geological Survey of South Carolina.*

(4) *Comp. rend.*, 1860; 50, 2170. — *Études sur l'orographie et la géologie de l'Amérique centrale*, par M. Durocher.

terrains volcaniques, sur lesquels se dressent des volcans actifs ou éteints : l'Atitlan, l'Ague, le Fuego s'élèvent de 3.500 à 4.200 mètres. Des plateaux du Guatémala se détachent des rameaux montagneux vers le golfe du Mexique et le Yucatan. La Cordillère ou chaîne principale a son nœud dans la partie occidentale du Honduras; les sommets s'y élèvent de 2.000 à 3.000 mètres.

La Cordillère présente des interruptions ou brèches : 1° en face du golfe du Honduras; 2° dans la région des grands lacs du Nicaragua. Entre les lacs et la côte du Pacifique, s'étend une seconde chaîne ou cordillère plus basse de 250 à 350 mètres d'altitude, formée de roches anciennes et métamorphiques.

L'État de Costarica offre un ensemble de plates-formes situées à diverses altitudes : au nord-ouest de cet État, les crêtes les plus élevées de la Cordillère sont formées de roches de porphyre, schisteuses et métallifères, qui constituent l'intérieur du continent et se prolongent au nord. Dans l'État de Nicaragua, la région des terrains anciens se resserre, la partie centrale du pays est constituée par la zone volcanique; il en est de même dans la province de Veragua, mais le golfe de Panama est en dehors de la direction de la bande volcanique, et la Cordillère y est formée de roches porphyriques et métamorphiques.

Antilles.

M. Ch. Sainte-Claire-Deville (1) a publié la 6e livraison de son *Voyage géologique aux Antilles*. Elle contient une carte, levée par lui, d'une partie de la Guadeloupe, ainsi qu'un mémoire sur les phénomènes barométriques aux Antilles.

Amérique méridionale. Trinité et Venezuela.

M. Wall (2) rappelle les travaux d'Alex. de Humboldt, de M. Boussingault, du colonel Codazzi (1841), et décrit en termes généraux la partie septentrionale de l'Amérique du Sud. Il donne une section de l'île de la Trinité et deux sections de la Cordillère littorale, l'une vers Cumana, l'autre vers Valencia, à l'ouest. Voici quelles sont les divisions géologiques qu'il établit :

1° Alluvions;
2° Terrain parien supérieur (le terme parien est emprunté à la pointe de Paria), arénacé dans le haut et calcaire dans le bas (miocène?);

(1) *Voyage aux Antilles et aux îles de Ténériffe et de Fogo*, par M. Ch. Sainte-Claire Deville.

(2) *Géologie d'une partie de Venezuela et de Trinidad*, par G. P. Wall. — *Geolog. Society*, XVI, 460, 1860.

3° Le grès de Margarita;
4° Le terrain parien inférieur (néocomien?).

La carte indique encore des roches pyroxéniques ainsi qu'un terrain nommé par l'auteur caribbéen et qui est formé de schistes micacés associés à des gneiss.

Chili. Atacama.

M. R. A. Philippi (1) a publié les résultats du voyage qu'il a entrepris d'après l'ordre du gouvernement chilien dans le désert d'Atacama. Parmi les faits intéressants qu'il mentionne, signalons des traces de terrain tertiaire, le lias supérieur et le jura inférieur; des marnes rouges avec gypse, sel et grès cuprifère qui appartiennent au terrain permien. Il a trouvé en outre des porphyres, du granite, de la syénite, de l'hypérite et différents trachytes. L'existence du terrain jurassique, déjà signalée au Chili par MM. Bayle et Coquand, se trouve donc confirmée.

(1) *N. Jahrb. v. Leonhard*, 1860; 852. In-4 avec carte et planches. Halle, 1860.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME VINGTIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages.

Revue de géologie pour l'année 1860; par MM. *Delesse* et *Laugel*, ingénieurs des mines :

1re partie : *Roches* 399
2e partie : *Terrains* 629

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

État présent de la métallurgie du fer en Angleterre; par MM. *Gruner*, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines, et *Lan*, ingénieur, professeur à l'École des mineurs de Saint-Étienne. 109
Suite 515

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Mémoire sur le spiral réglant des chronomètres et des montres; par M. *Phillipps*, ingénieur des mines. . . . 1
Appareil hydraulique remplaçant les formes sèches de radoub, construit à Londres par M. E. Clarke; extrait par M. *Couche* de la description donnée par M. *Schaaf*. . 269
Sur les progrès récents de l'exploitation des mines; par M. *Callon*, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines. 279
Commentaire aux travaux publiés sur la chaleur considérée au point de vue mécanique; par M. *Résal*, ingénieur des mines 323

CONSTRUCTION. — CHEMINS DE FER.

Rapport et avis sur l'explosion d'une locomotive du chemin de fer de l'Est. 509

Pages.

Note sur le frein appliqué aux véhicules du plan incliné de Lyon à la Croix-Rousse; par MM. *Molinos* et *Pronnier*, ingénieurs. 621

OBJETS DIVERS.

Recettes de l'exploitation des chemins de fer français: 1er semestre des années 1860 et 1861. 277

Table des matières du tome XX. 707
Explication des planches du tome XX. 709

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME VINGTIÈME.

Pl. I et V. *Spiral réglant des chronomètres et des montres.* . . 1
L'explication détaillée de ces planches se trouve dans le texte, pages 55 et suivantes.

Pl. VI.

Fig. 1 20. *Métallurgie du fer en Angleterre.*
Tracés de hauts fourneaux. 109

Fig. 21 à 23. *Théorie mécanique de la chaleur* 330

Pl. VII. *Appareil hydraulique de M. Clarke remplaçant les formes sèches de radoub.* 269

Pl. VIII.

Fig. 1 à 4. *Explosion d'un foyer de locomotive sur le chemin de fer de l'Est.* 509

Fig. 5 et 6. *Métallurgie du fer en Angleterre.* 109

Fig. 5. Coupe géologique du pays de Galles, de Newport à Nantyglo.

Fig. 6. Plan de l'atelier des fours à coke, à Dowlais (pays de Galles).

Pl. IX. *Frein appliqué aux véhicules du plan incliné de Lyon à la Croix-Rousse.* 621

FIN DU TOME VINGTIÈME.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Ce, rue Racine, 26.

Divers types théoriques de courbes terminales.

Fig. 1.

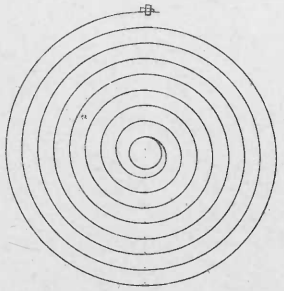


Fig. 2.

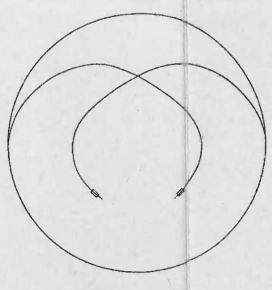


Fig. 3.

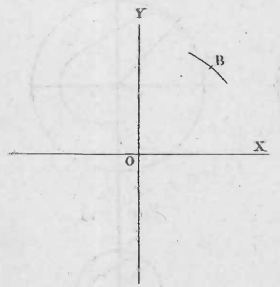


Fig. 4.

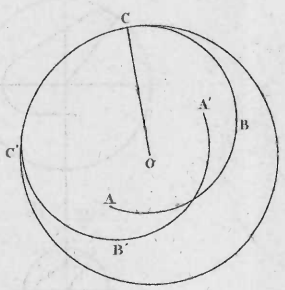


Fig. 5.

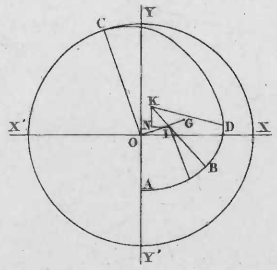


Fig. 6.

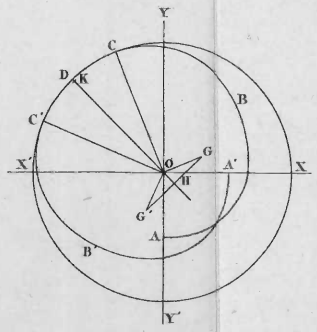


Fig. 7.

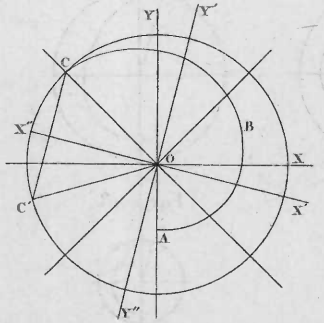


Fig. 8.

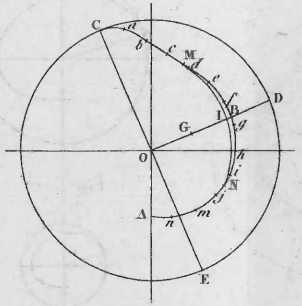


Fig. 9.

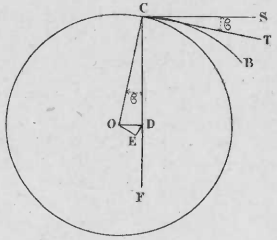


Fig. 10.

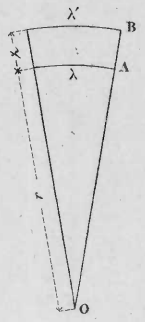


Fig. 11.

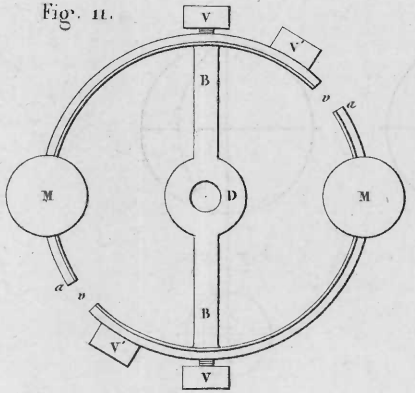


Fig. 12.

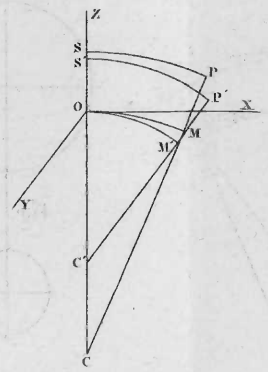


Fig. 13.

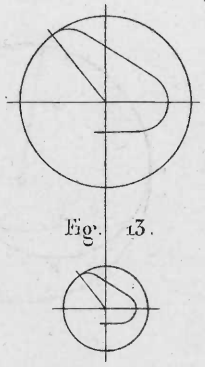


Fig. 14.

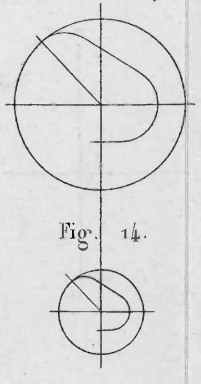


Fig. 15.

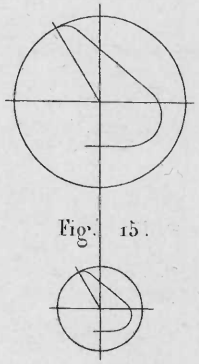


Fig. 16.

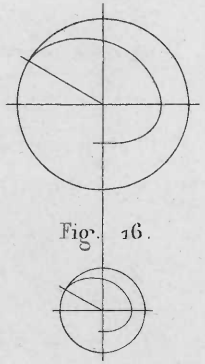


Fig. 17.

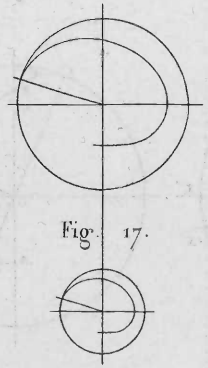


Fig. 18.

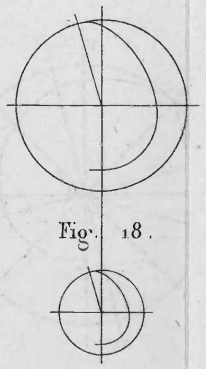


Fig. 19.

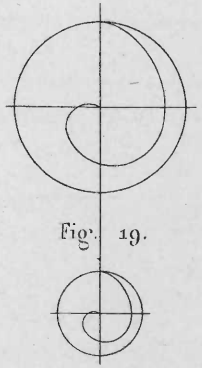


Fig. 20.

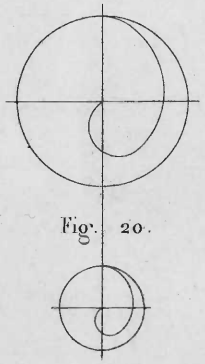


Fig. 21.

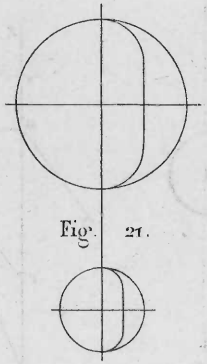


Fig. 22.

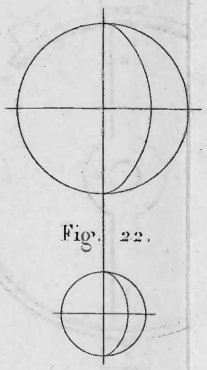


Fig. 23.

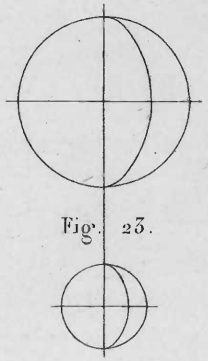
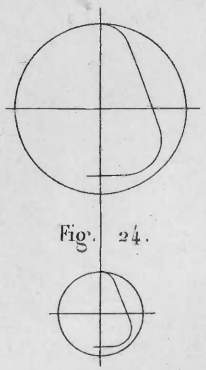
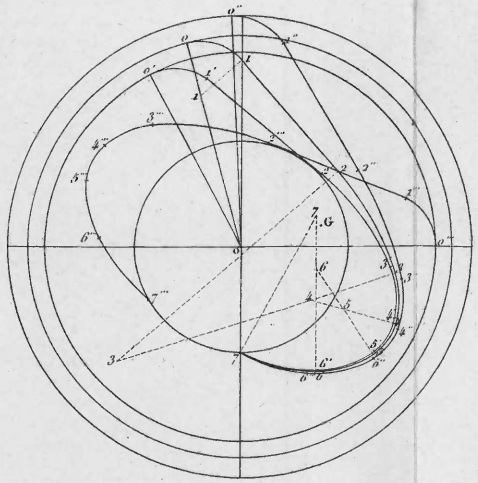


Fig. 24.



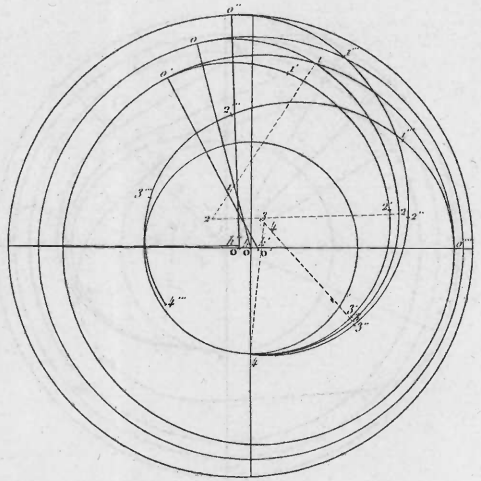
Courbe théorique

Fig. 1.



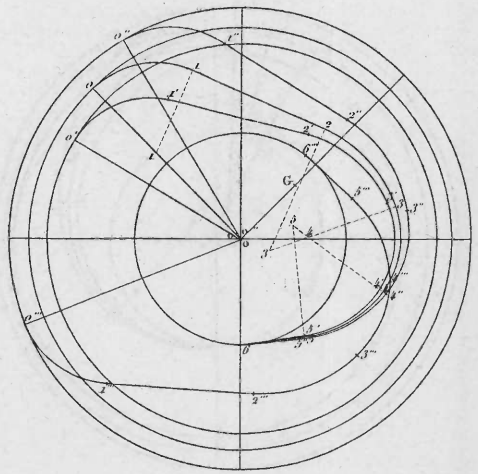
Courbe non théorique

Fig. 2.



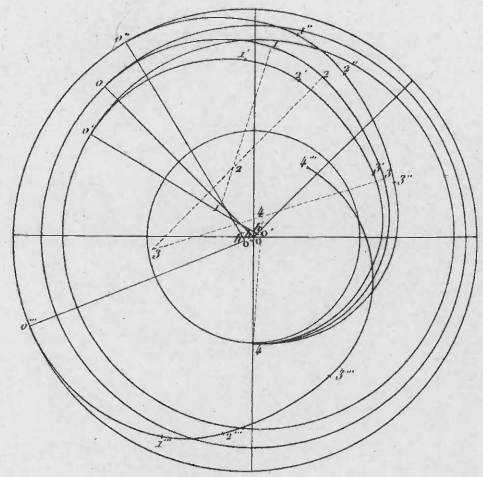
Courbe théorique

Fig. 3.



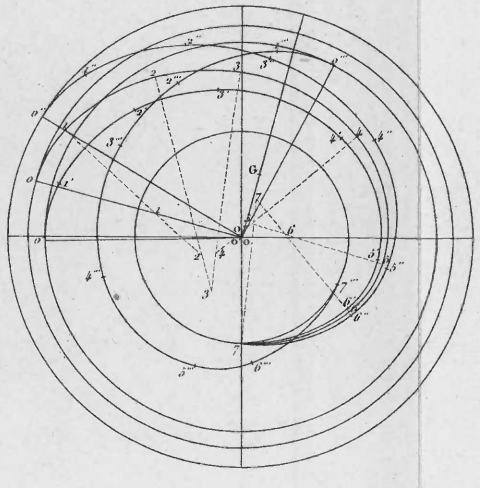
Courbe non théorique

Fig. 4.



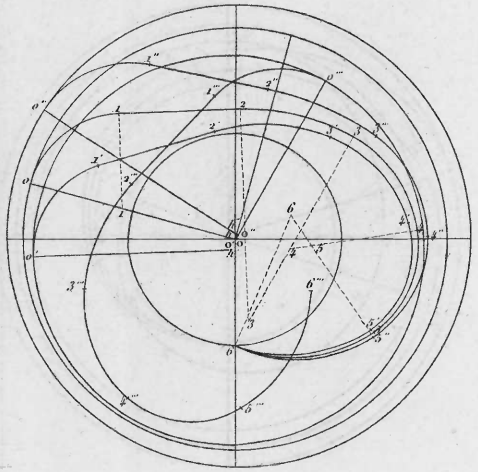
Courbe théorique

Fig. 5.



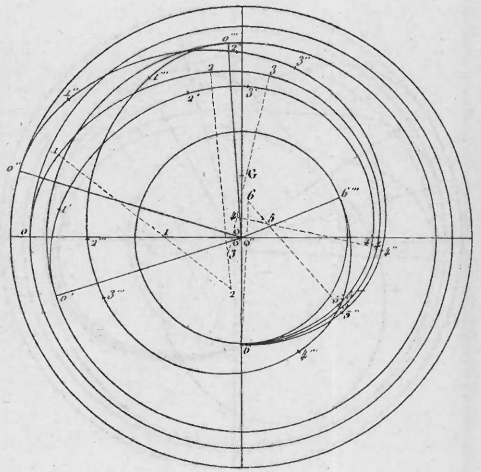
Courbe non théorique

Fig. 6.



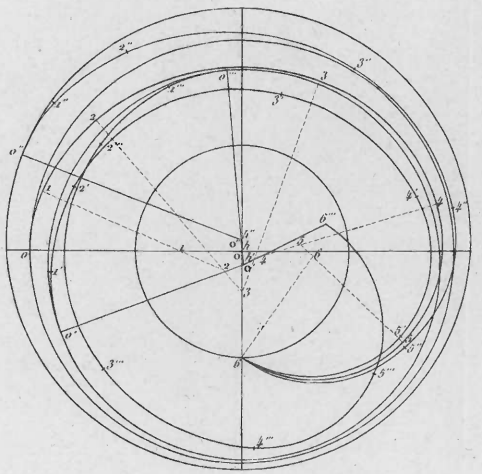
Courbe théorique

Fig. 7.



Courbe non théorique

Fig. 8.



Toutes les courbes sont théoriques sauf celle de la fig. 9.

Fig. 1.

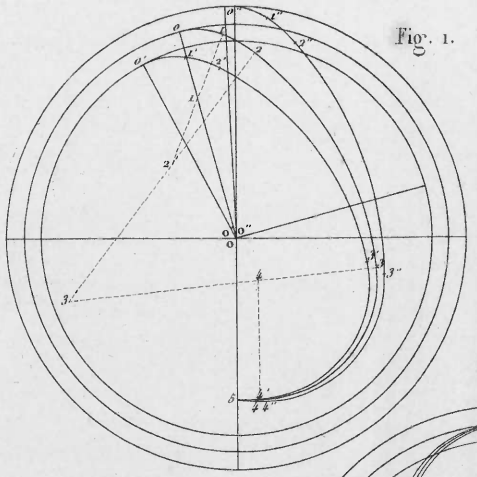


Fig. 2.

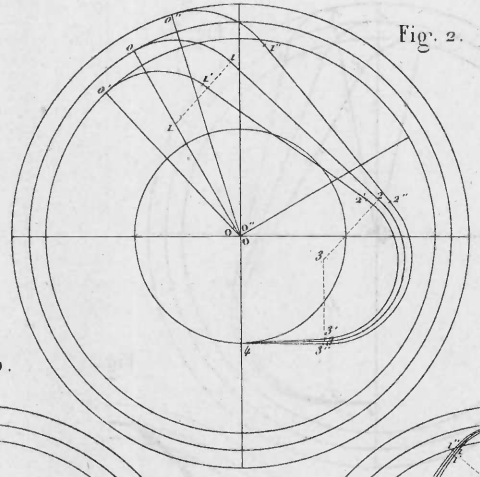


Fig. 3.

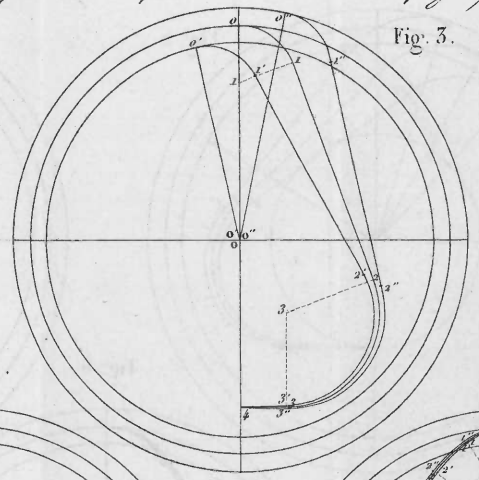


Fig. 4.

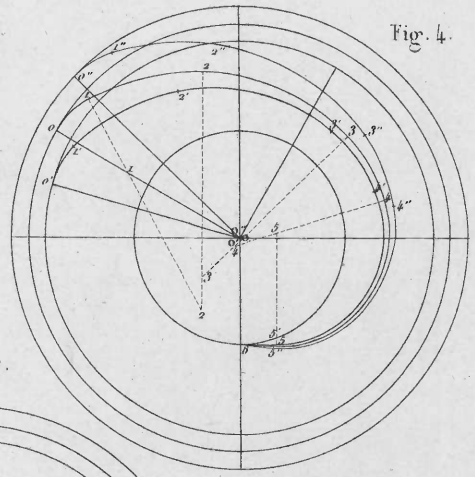


Fig. 5.

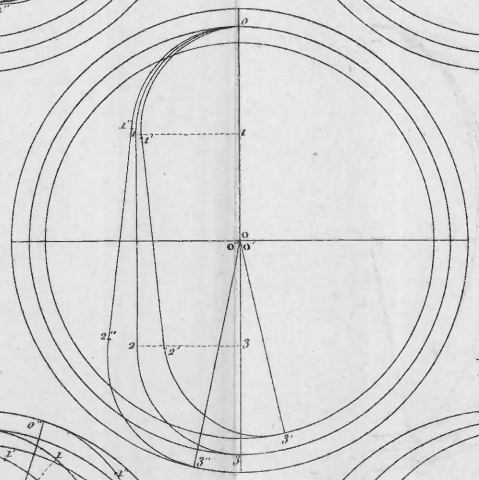


Fig. 6.

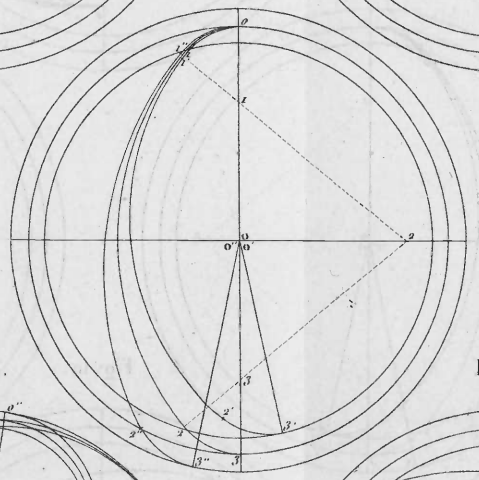


Fig. 7.

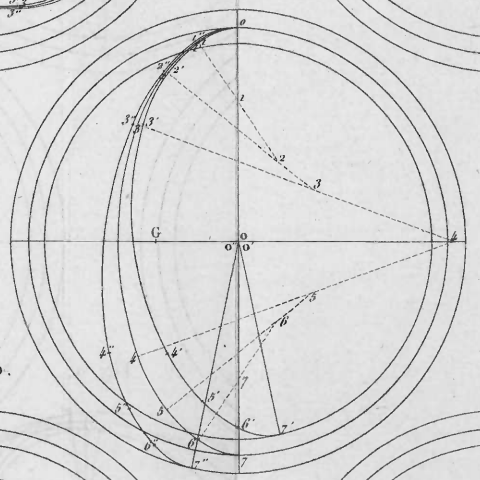


Fig. 8.

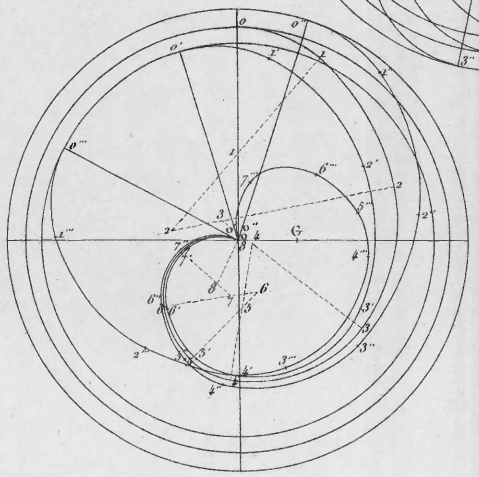


Fig. 9.

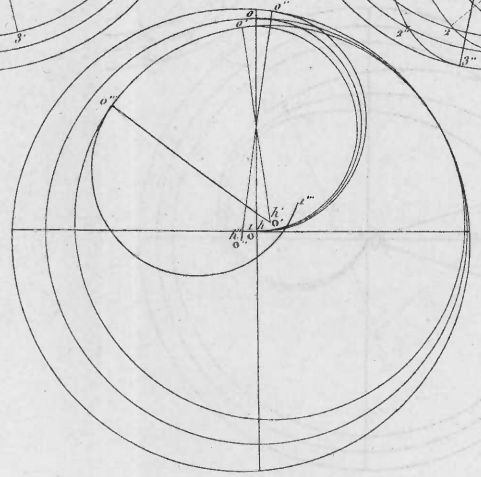


Fig. 10.

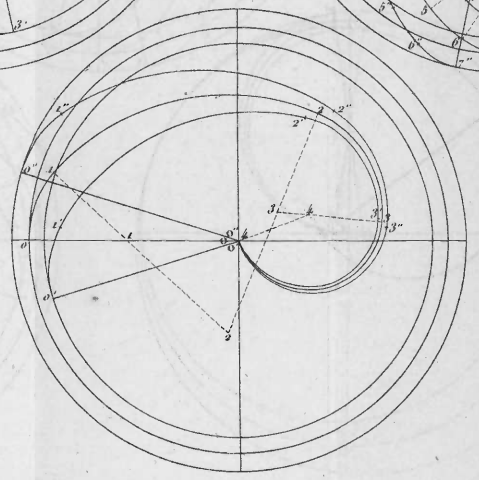
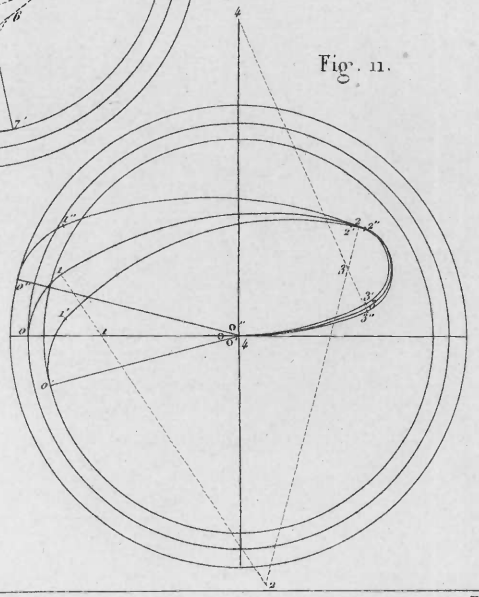


Fig. 11.



Spiral plat forme théorique.

Fig. 1.

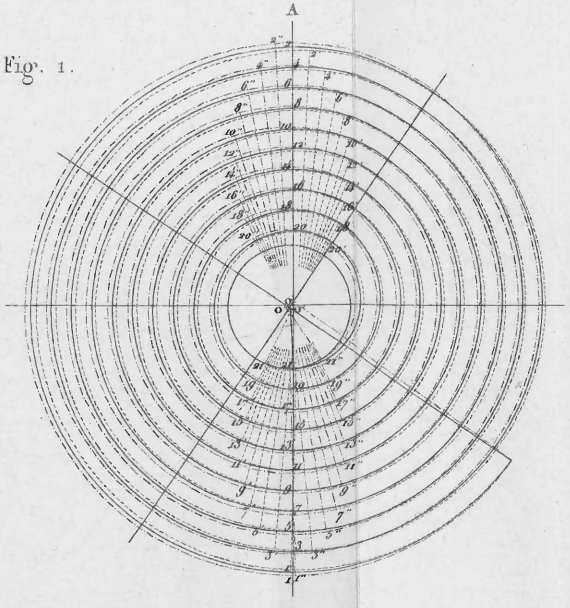


Fig. 2.

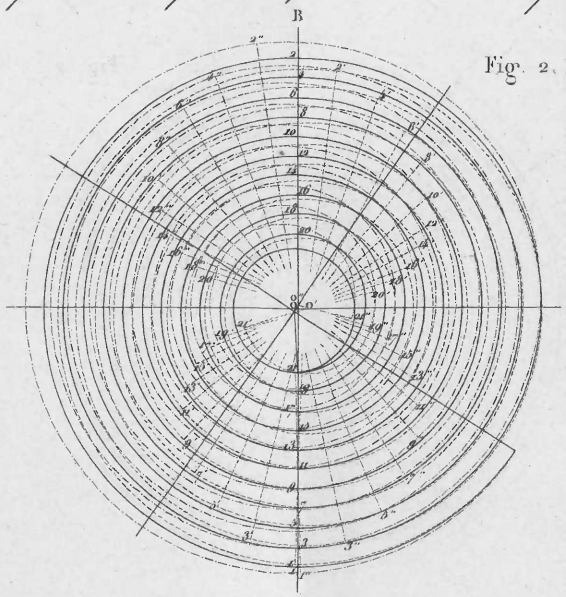
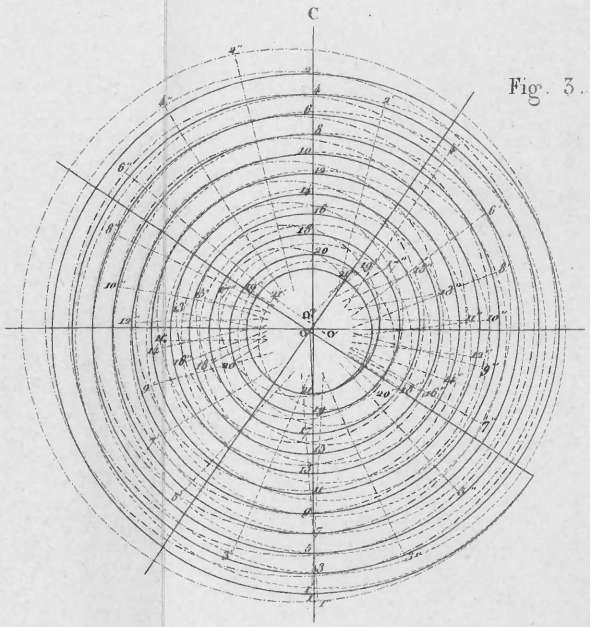


Fig. 3.



Spiral plat forme non théorique.

Fig. 4.

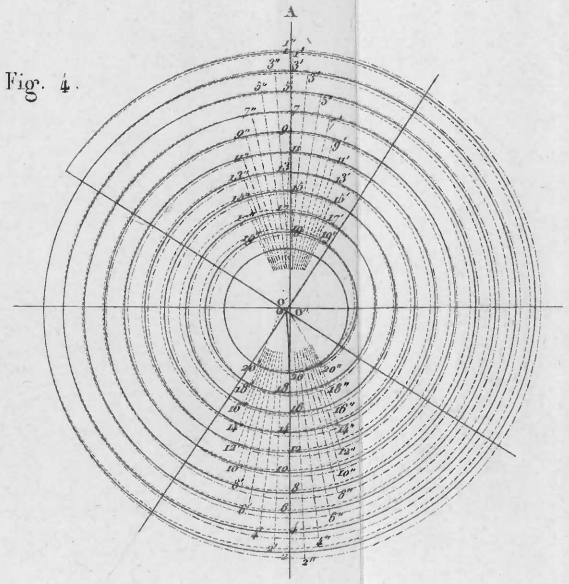


Fig. 5.

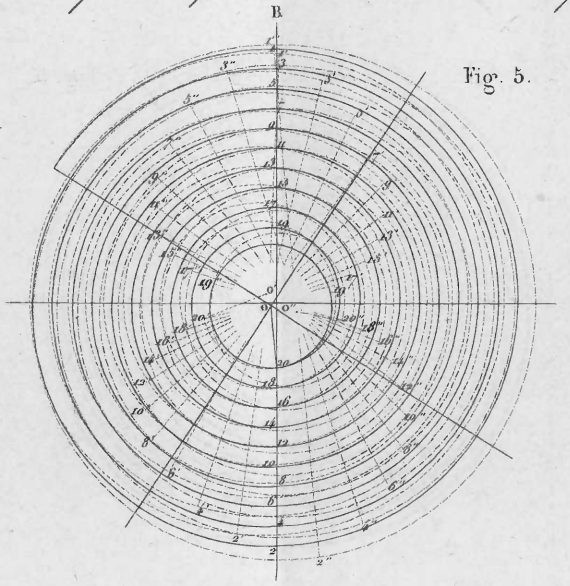
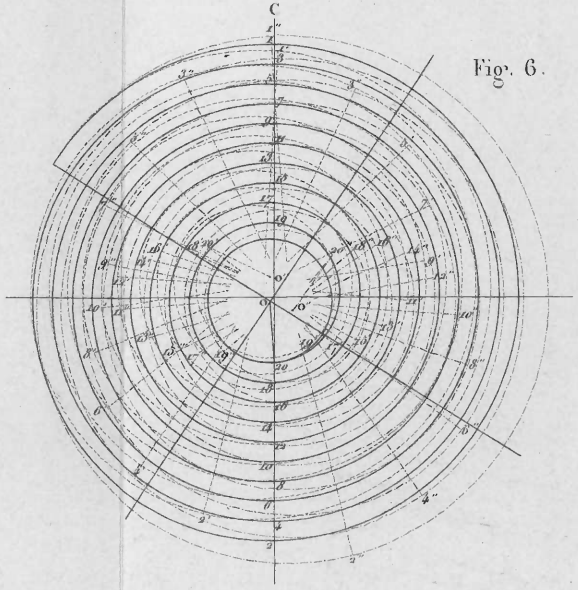


Fig. 6.

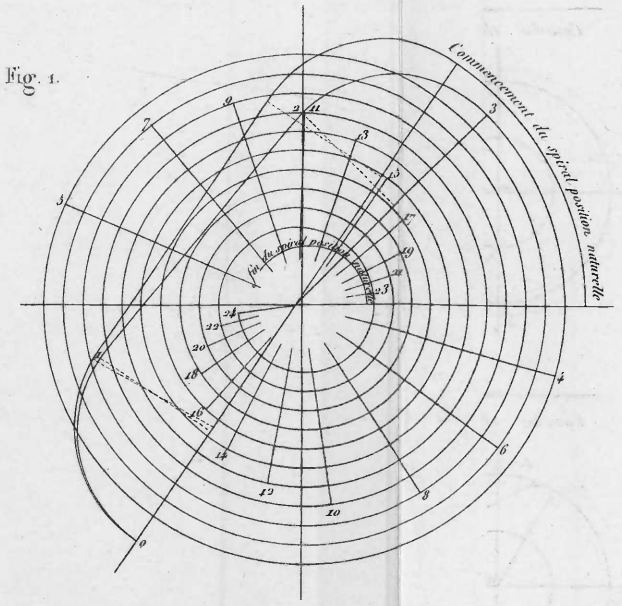


Spiral plat avec courbe théorique.

Relevé d'expériences faites avec un spiral cylindrique.

Courbe allant au centre.

Fig. 1.



Courbe théorique. *Courbe non théorique.*

Fig. 2.

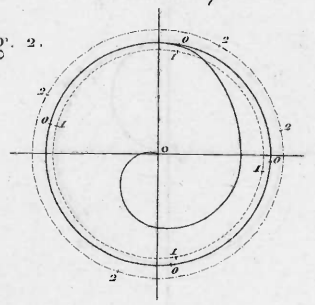
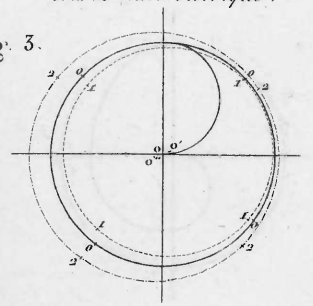


Fig. 3.



$\theta = 180°$

Courbe théorique. *Courbe non théorique.*

Fig. 4.

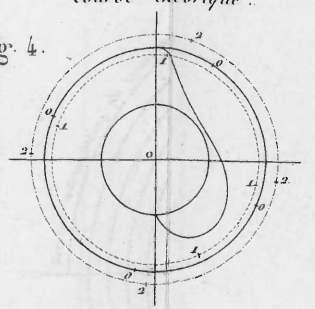
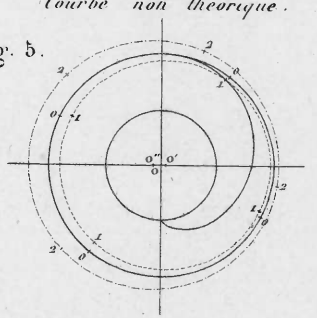


Fig. 5.



$\theta = 195°$

Courbe théorique. *Courbe non théorique.*

Fig. 6.

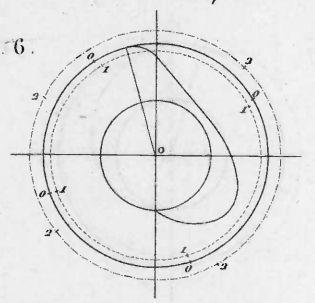
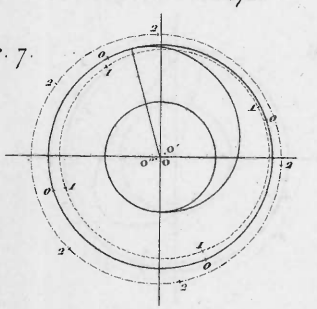


Fig. 7.



$\theta = 210°$

Courbe théorique. *Courbe non théorique.*

Fig. 8.

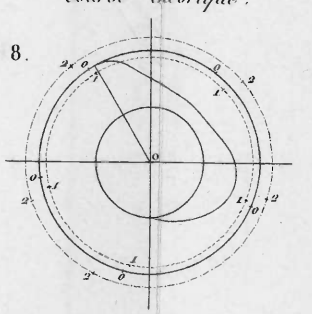
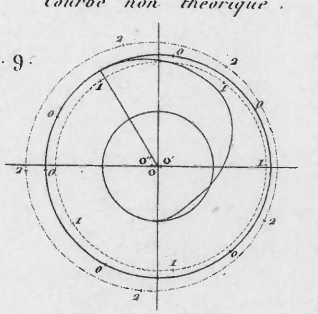


Fig. 9.



$\theta = 225°$

Courbe théorique. *Courbe non théorique.*

Fig. 10.

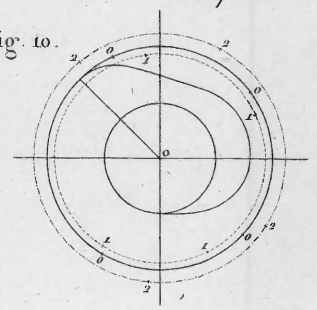
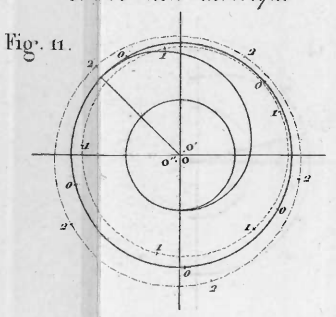


Fig. 11.



$\theta = 240°$

Courbe théorique. *Courbe non théorique.*

Fig. 12.

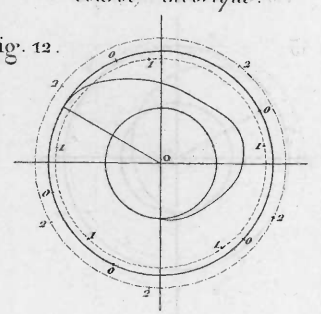
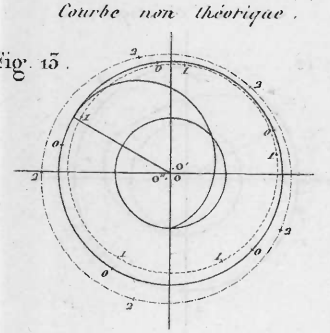


Fig. 13.



$\theta = 255°$

Courbe théorique. *Courbe non théorique.*

Fig. 14.

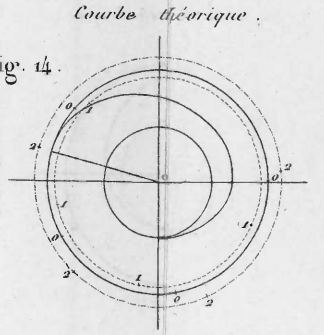


Fig. 15.

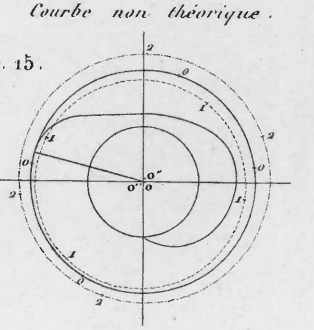


Fig. 2. Coupe
H.t F.u de Gartsherrie

Fig. 1.
Hauts Fourn.x d'Ecosse.

Volume 200 m.3

Volume 150 à 160 m.3

Fig. 3.
H.t F.u N.o 3 de Bilston

Volume 275 m.3

Fig. 4.
H.ts F.x modernes du Staffordshire

Volume 120 m.3

Fig. 5.
Haut F.u d'Yniscedwin

Volume 85 m.3

Fig. 6.
H.t F.u de Blaenavon

Volume 110 m.3

Echelle de 0.m 005 pour 1 mètre

Fig. 7.
H.t F.u de Tees-Side (Cleveland)

Volume 195 à 200 m.3

Profils divers de hauts f.x anglais.

Fig. 8.
G.d H.t F.u de Middlesboro.

Volume 175 m.3

Fig. 9.
H.t F.x anciens de Cleveland.

Volume 135 à 140 m.3

Fig. 10.
G.d H.t F.u de Dowlais

Volume 230 à 235 m.3

Théorie mécanique de la chaleur.

Fig. 21.

Fig. 22.

Fig. 23.

Fig. 11. Hauts Fournaux d'Ebbw-Vale.

N.o 1.
Vol. 165 m.3

N.o 2.
Vol. 170 m.3

N.o 3.
Vol. 160 m.3

Fig. 12.
H.t F.x ordinaires de Dowlais

Volume 140 à 150 m.3

Modèle qui paraît donner les meilleurs résultats à Dowlais

Fig. 13.
H.t F.u N.o 2 de Dowlais

Vol. 165 m.3

Fig. 14.
H.t F.u N.o 1 et 4 de Victoria

Volume 115 à 120 m.3

Fig. 15.
H.t F.u de Low-Moor

Vol. 65 T.3

Fig. 16.

Fig. 17.

Appareil à air chaud de Clarence Works

Coupe

Plan de l'un des tuyaux à tubulures

Fig. 18.
Plan

Fig. 19.
Coupe longitudinale

Fig. 2. Plan

Appareil à air chaud de Gartsherrie

Fig. 20.
Coupe transversale

Annales des Mines, 5.e Série, Tome XX. page 109 et suiv. 323 et suiv.

Dunod, Imp.r Quai des Augustins, 49, Paris.

Lemaître sc.

Appareil hydraulique remplaçant les formes sèches, par Mr Ed. Clarke.

Fig. 5.

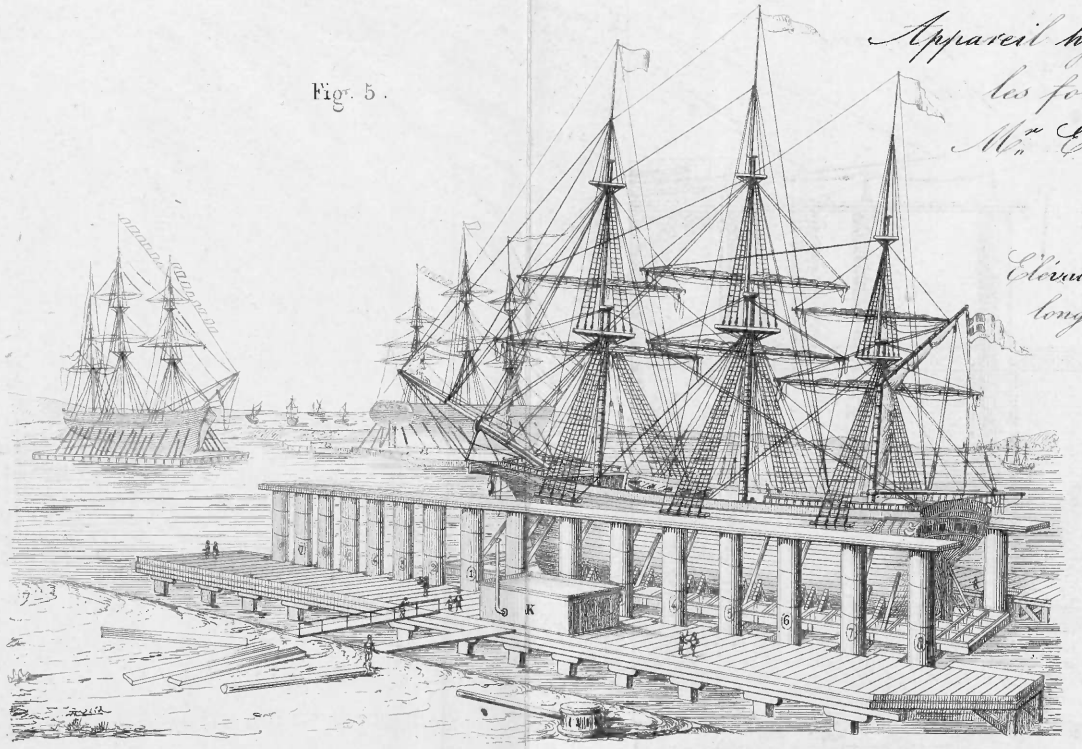


Fig. 2.

Élévation et Coupe longitudinales

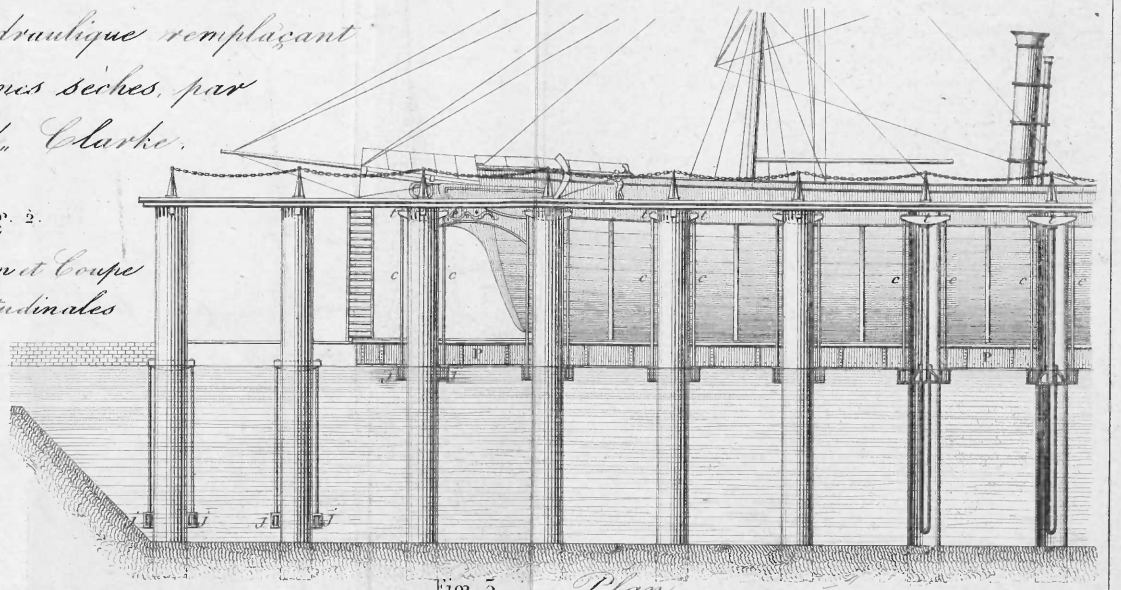


Fig. 3. Plan

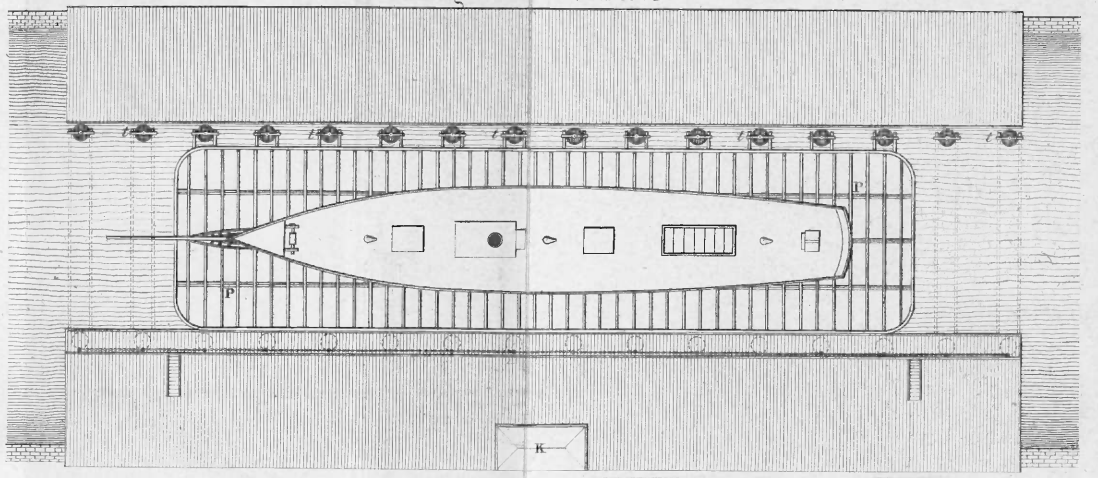


Fig. 4.

Élévation et Coupe transversales

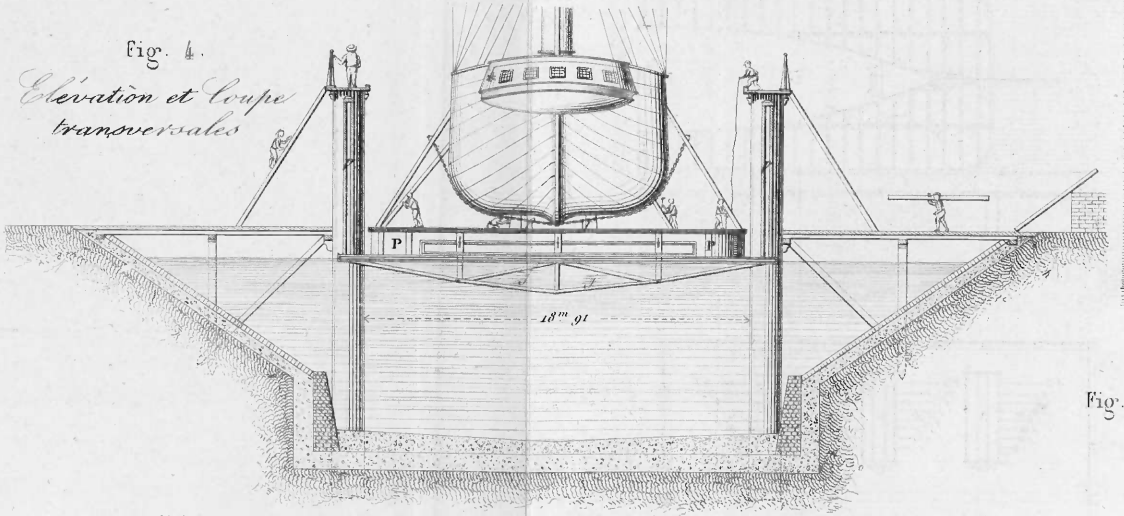


Fig. 6.

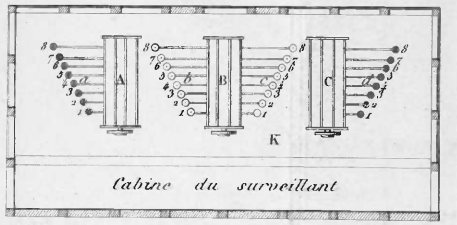
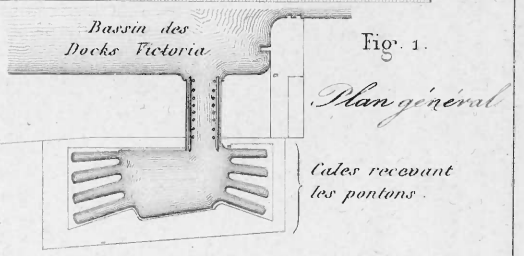


Fig. 1.

Plan général



Échelle des Fig. 2 et 4.

Échelle de la Fig. 3.

Foyer de la machine 262.

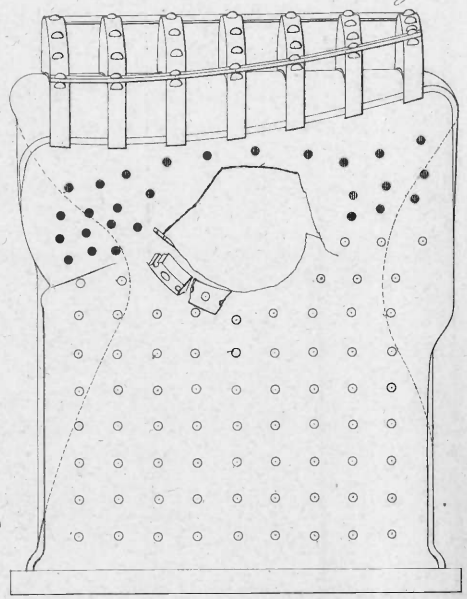


Fig. 1. Face d'arrière (côté de la porte).

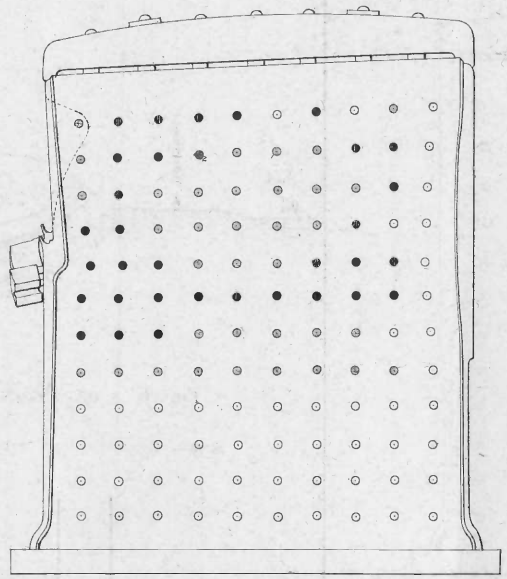


Fig. 2. Côté droit.

Fig. 3. Face d'avant (côté de la plaque tubulaire).

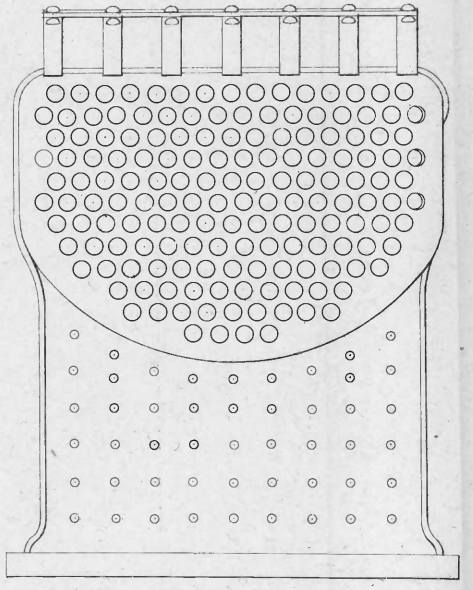


Fig. 4. Côté gauche

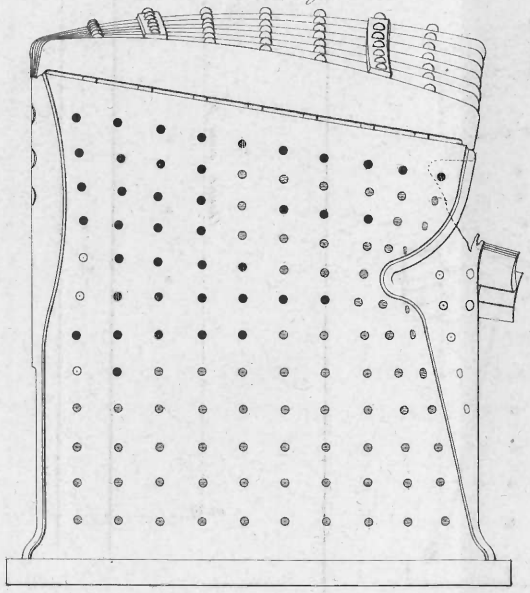


Fig. 5.

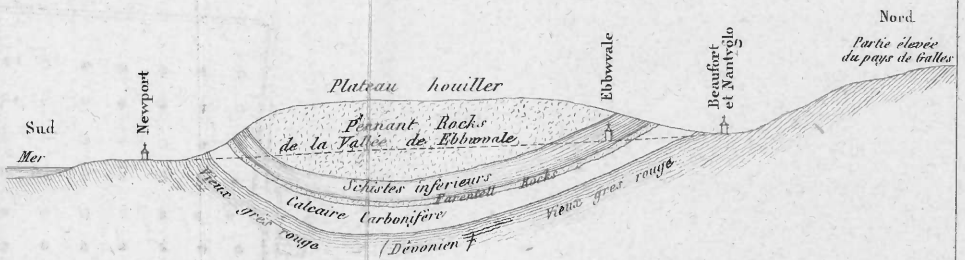
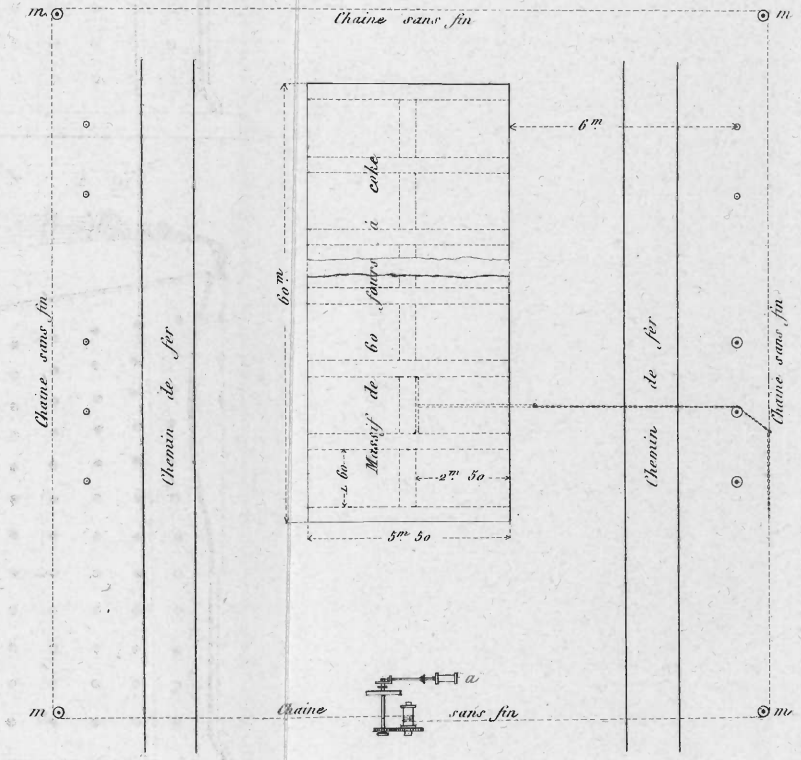


Fig. 6. Atelier de 60 fours à coke de Dowlais



Chemin de fer de Lyon à la Croix Rousse.

Frein appliqué aux véhicules.

Fig. 3. *Coupe suivant CD du plan Fig. 2.*

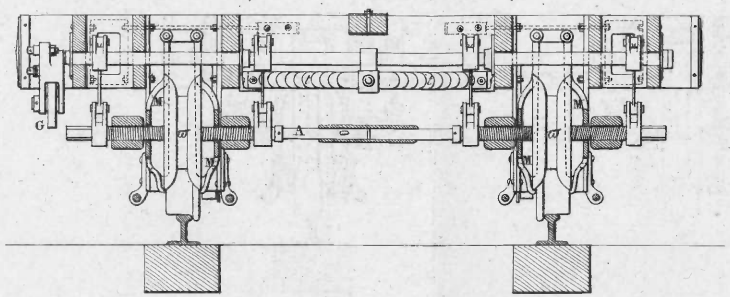


Fig. 1. *Coupe suivant AB du plan Fig. 2.*

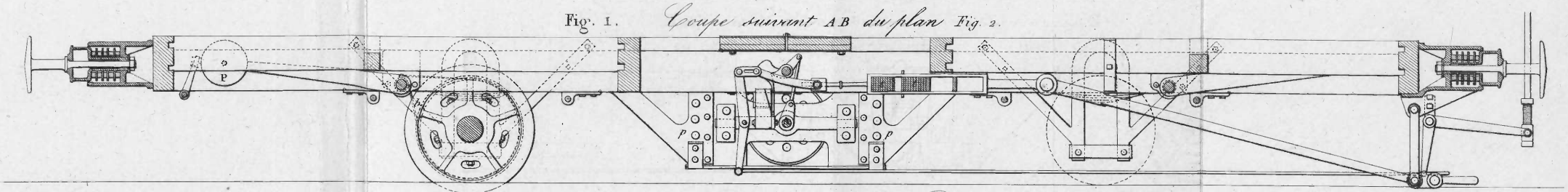


Fig. 2. *Plan*