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.

CORDIER, insp. gén., membre de l'Acad. des Sciences, profess. de géologie au Muséum d'hist. naturelle, président.

DE BOUREUILLE, insp. gén., secrét. gén. du ministère de l'agriculture, du comm. et des trav. publics.

DUFRÉNOY, insp. gén., directeur de l'École des mines, membre de l'Acad. des Sciences, prof. de minéralogie au Muséum d'histoire naturelle.

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.

THIRRIA, inspecteur général.

COMBES, inspecteur général, membre de l'Académie des Sciences, profess. d'exploitation des mines.

MM.

JUNCKER, inspecteur général.

LEVALLOIS, inspecteur général.

MARROT, inspecteur général.

LE PLAY, ingénieur en chef, conseiller d'État, professeur de métallurgie.

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

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

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

RIVOT, ingén., prof. 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., 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 Dragon, n° 30, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles. 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 VII.

PARIS.

VICTOR DALMONT, ÉDITEUR,

Successeur de Carilian-Gœury et Vor Dalmont,

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

Quai des Augustins, 49.

1855



BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1855.

FRANCE.

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE. Publié à Saint-Étienne, 2e livraison. — Paris, Vor Dalmont.

PERDONNET. Traité élémentaire des chemins de fer. 2 forts volumes in-8, avec figures intercalées dans le texte. Le premier seul a paru.— Paris, Langlois et Leclercq et chez Vor Dalmont. — Prix de l'ouvrage complet. 15 fr.

F. REECH. Machine à air d'un nouveau système, etc. Ouvrage publié sous les auspices du ministre de la marine. In-4 de 12 feuilles 1/2. — Paris, Mallet-Bachelier. 6 fr.

N. BASSET. Traité complet d'alcoolisation générale. In-18 avec 6 planches. — Goin, à Paris. 6 fr.

BELGRAND. Recherches statistiques sur les sources du bassin de la Seine qu'il est possible de conduire à Paris (Rapport adressé au préfet de la Seine). In-4 de 11 feuilles 1/2, avec carte géologique. — Vinchon, à Paris.

A. D'ANGLEVILLE. Traité pratique du drainage. In-8 de 2 feuilles 1/2, 1 planche. — Dusacq, à Paris. 1 fr.

C. JAMES. Étude sur les eaux minérales de la Bohème. In-8 de 1 feuille 1/2. — Malteste, à Paris.

— Historique de l'appareil à force centrifuge appliqué au clairçage du sucre; par Rohr, Seyrig et compagnie. In-8 de 6 feuilles 3/4 et 2 planches. — Malteste, à Paris.

S. DE BEAUREGARD. Mémoire sur la fabrication de la chaux et son usage en agriculture, particulièrement en Pologne. In-8 de 1 feuille 1/2. — Paris, Hubert. 50 c.

PORTEFEUILLE DE JOHN COCKERELL. Description des machines diverses construites dans les établissements de Seraing. 12 livraisons par an. — Noblet, à Paris. 2 fr. la liv.

T. DUMONCEL. Exposé des applications de l'électricité. 2e vol. in-8 de 23 feuilles 3/4. — Paris, Vor Dalmont. 5 fr.

L'ouvrage se compose de 3 volumes.

E. Grangez. Pièces historiques et statistiques des voies navigables de la France. In-8 de 50 feuilles. — Chaix et V^or Dalmont, à Paris. 15 fr.

Lagrange. Mécanique analytique, revue et corrigée par J. Bertrand. Tome II. In-4 de 50 feuilles. — Mallet-Bachelier, à Paris. — Prix des 2 vol. 40 fr.

Revue de technologie militaire. Recueil de mémoires relatifs à l'art militaire, etc., traduits, analysés et annotés par L. Delabel. In-8. 1re année. — Noblet, à Paris. 15 fr.

Viollet-le-Duc. Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle. Tome I. — Bance, à Paris. 21 fr.

H. Bacquès. Des arts industriels et des expositions en France. 1 vol. in-18. — Dentu, à Paris. 2 fr.

H. Tresca. Visite à l'exp. universelle. In-12. — Hachette. 3 fr.

L. Simonin. Rapport sur les mines d'antimoine d'Ersa (cap Corse). In-4 de 2 feuilles 1/2 et 2 planches. — Senès, à Marseille.

D'Archiac et J. Haime. Description des animaux fossiles du groupe nummulitique de l'Inde. 2e et dernière livraison. In-4 de 19 feuilles 1/2. — Paris, Gide et Baudry.

Berthault-Ducreux. Note sur les principes et les procédés de l'éclairage. In-8 de 4 feuilles et 1 pl. — V^or Dalmont, à Paris.

A. de Humboldt. Volcans des Cordillières de Quito et du Mexique. In-4 obl. de 2 feuilles et 12 pl. — Paris, Gide et Baudry. 8 fr.

Chazallon. Annuaire des marées des côtes de France pour 1855. In-18 de 8 feuilles. — Paris, Ledoyen. 1 fr.

B. Pol et C. Watelle. Mémoire sur les effets de la compression de l'air appliqué au creusement des puits à houille. In-8 de 2 feuilles 1/2. — Obez, à Douai.

G. Michaud. Description des coquilles fossiles découvertes dans les environs d'Hauterive. In-8 de 2 feuilles 1/4. — Dumoulin, à Lyon.

F. Vallès. Études sur les chaussées empierrées. In-8 de 17 feuilles. — V^or Dalmont, à Paris.

Influence de la constitution géologique du sol sur la production du crétinisme. In-8 de 6 feuilles 1/2. — V^or Masson, à Paris.

Annuaire des eaux de la France pour 1851-54. Publié par ordre du ministre de l'agriculture. 2e et 3e parties. In-4 de 28 feuilles. — Imprimerie impériale. — Paris, V^or Dalmont.

J. Lefort. Chimie des couleurs. 1 vol. in-18. — V^or Masson. 4 fr.

Gavarret. De la chaleur produite par les êtres vivants. 1 vol. grand in-18. — V^or Masson, à Paris. 5 fr.

Mialhe. Chimie appliquée à la physiologie et à la thérapeutique. In-18. — V^or Masson, à Paris. 9 fr.

Galtier. Traité de toxicologie générale et spéciale. 4 vol. in-8. — Chameroz, à Paris. 20 fr.

A. Faure. Étude sur les produits de fabrication de gaz à la houille et de gaz à l'eau. In-8 de 2 feuilles 1/2.

L. de Lavergne. Essai sur l'économie rurale de l'Angleterre, de l'Écosse et de l'Irlande. 2e édition. In-18 de 16 feuilles. — Guillaumin, à Paris. 9 fr. 50 c.

T. du Moncel. Notice sur l'appareil d'induction électrique de Ruhmkorff. In-8 de 10 feuilles. — Paris, V^or Dalmont. 3 fr.

— De l'asphodèle, ses applications industrielles; alcool, papier, etc. In-8 de 4 feuilles et 2 pl. — Dalmont, à Paris. 3 fr.

E. Burnouf. Essai sur les assolements en Corse. In-12 de 6 feuilles. — Fabiani, à Bastia.

Nadault de Buffon. Cours d'agriculture et d'hydraulique agricole. Tome II, 1re partie. In-8 de 32 feuilles et 9 planches. — V^or Dalmont, à Paris. 9 fr.

A. de Colmont. Histoire des expositions de l'industrie en France. 1 vol. in-8. — Guillaumin, à Paris. 7 fr. 50 c.

Gauss (traduit par Bertrand). Méthode des moindres carrés. In-8 de 11 feuilles. — Mallet-Bachelier. 4 fr.

A. Tardieu. Étude hygiénique sur la profession du mouleur en cuivre. In-18 de 4 feuilles. — J.-B. Boutteni. 1 fr. 25 c.

Sacc. Précis élémentaire de chimie agricole. In-12 de 30 feuilles. — Dusacq, à Paris. 3 fr. 50 c.

A. Rendu et Delorme. Traité pratique de droit industriel. — Cosse, à Paris.

Exposition universelle de 1851. Travaux de la commission française sur l'industrie des nations. Tomes III, IV, V, VI, VII. — Paris, imprimerie impériale.

J.-A. Hugard. Galerie de minéralogie et de géologie du Muséum d'histoire naturelle de Paris. — Description des collections: classement et distribution des minéraux, roches, terrains et fossiles; indication des objets les plus précieux; précédée d'une notice historique sur l'origine et les développements successifs des collections jusqu'à ce jour. In-12. — Paris, V^or Dalmont. 1 fr. 75 c.

ANGLETERRE.

CORNWALL... *Its mines*... Les mines de Cornouailles (formant les 74 et 75e parties de la Bibliothèque du voyageur).

TATE. *Mechanics*... Traité élémentaire des machines à vapeur. 1 vol. in-18. 1 sch.

JOH. BOURNE. *A Treatise of the screw*... Traité des propulseurs à hélice. Nouvelle édition, revue et augmentée, avec de nombreuses planches et gravures sur bois. In-4. 38 sch.

E.-R. HUMPHREYS. *A Manuel of the*... Manuel d'économie politique, à l'usage des candidats aux emplois civils. In-8.

A. HILL HASSALL. *Food and its adulterations*... Des falsifications des substances alimentaires; comprenant le rapport de la commission sanitaire et les résultats de plusieurs milliers d'analyses chimiques et microscopiques. Ouvrage contenant 159 gravures sur bois. In-8. 28 sch.

R. HUNT. *Elementary*... Traité élémentaire de physique. Nouvelle édition, augmentée. In-8. 5 sch.

LARDNER. *The electric*... Le télégraphe électrique mis à la portée de tout le monde. In-8. 2 sch.

OXFORD. *Essays*... Mémoires rédigés par les membres de l'université d'Oxford. In-8. 7 sch. 6 d.

TAYLOR. *Programme and*... Projet d'un chemin de fer de jonction pour la capitale. In-8. 1 sch. 6 d.

W.-E. TAYLER. *Geology*... Les théories de la géologie moderne et leur opposition avec les faits de la création. 5 sch.

LORD BROUGHAM et E. ROUTH. *Analytical view*... Examen analytique des *principes* de Newton. In-8.

VAN DER HOEVEN. *Handbook*... Manuel de zoologie (traduit du hollandais par W. Clark). In-8.

NEWTON. *Memoirs of his life*... Mémoires sur sa vie, ses écrits et ses découvertes, par D. *Brewster*. In-8. — Londres. 32 fr. 40 c.

QUARTERLY JOURNAL... de mathématiques pures et appliquées, publié par MM. Sylvester et Ferrers, assistés de MM. Stockes, Cayley et Hermite; n° 1, avril 1855. 7 fr. 50 c.

J.-W. DOWSON. *Acadian geology*... Structure géologique et richesses minérales de la Nouvelle-Écosse. In-12. — Édimbourg. 15 fr.

R. OWEN. *Lectures*... Leçons sur l'anatomie comparée et sur la physiologie des animaux vertébrés. In-8. 2 vol. — Londres. 31 fr. 50 c.

PHILLIPS. *Manual*... Manuel de géologie pratique et théorique. In-8. — London. 18 fr.

E. EMMONS. *American*... Géologie américaine; principes de la géologie avec les fossiles caractéristiques de l'Amérique. 1re partie (il y en aura 5 environ). In-8° avec 2 cartes. — Albany, 1854. 10 fr.

I. LEA. Empreintes de pas fossiles dans le grès rouge de Pottsville (Pensylvanie). In-folio. — Philadelphie. 30 fr.

ALLEMAGNE.

J. FORSACH. *Handbuch der*... Manuel de télégraphie électrique. In-8, 45 planches. — Vienne. 8 fr.

H. VON WALDEGG. *Abbildung und beschreibung*... Description des machines locomotives; 4e livraison. In-4. — Wiesbade. 8 fr.

V. WEBER. *Die technik*... L'exploitation technique des chemins de fer, considérée sous le rapport de la sécurité des voyageurs. In-8. — Leipzig. 6 fr.

J. WEISBACH. *Experimental*... Introduction à l'hydraulique appliquée. In-8. — Freiberg. 9 fr. 35 c.

H. CREDNER. *Geognostische*... Carte géognostique du Thuringerwald. 4 feuilles in-folio et texte. — Gotha. 9 fr. 35 c.

DECKER. *Handbuch*... Manuel de mécanique rationnelle et appliquée (3e volume). In-8. — Ausbourg. 6 fr.

FECHNER. *Uber die*... Sur la théorie physique et philosophique des atomes. — Leipzig. 5 fr.

BECKER. *Die Strassen und*... Traité de la construction des routes et des chemins de fer. 1 vol. in-8, atlas. — Stuttgard. 25 fr.

B. KERL. *Handbuch*... Manuel de métallurgie. Tome II (l'ouvrage complet en aura trois). In-8, avec planches. — Freiberg. — Prix des deux tomes publiés. 21 fr. 50 c.

VON CARNALL. *Geognostische*... Carte géologique des gîtes métallifères du muschelkalk, près de Tarnowitz et de Benthen. In-folio. — Berlin. 7 fr.

GMELIN. *Handbuch*... Manuel de Chimie, continué par K. List, avec notes de J. Liebig; 39e livraison. — Heidelberg. — La livraison. 2 fr. 25 c.

Geologische Ubersichtskarte... Carte géologique de la Suisse. Réduction de la grande carte de B. Studer et A. Etcher de la Linth. — Winterthur. 4 fr. 50 c.

H. GIRARD. *Die Norddeutsche...* Carte géologique des plaines du nord de l'Allemagne et spécialement de la partie entre l'Elbe et la Vistule. In-8, avec carte. 7 fr. 35 c.

A. KENNGOLT. *Synonimik...* Synonymie de la cristallographie. In-8. — Vienne. 6 fr.

L. LEICHARD. *Beitrage...* Notice sur la géologie de l'Australie, publiée par H. Girard. In-4, 8 planches. — Halle. 6 fr. 75 c.

H. VON MEYER. *Zur Fauna...* Faune antédiluvienne; 2e partie. Sauriens du muschelkalk. In-folio, 20 planches. 5e et 6e livraisons. 18 f.

C.-F. NAUMANN. *Elemente...* Éléments de minéralogie. 4e édition, avec 398 figures. In-8. — Leipzig. 12 fr.

VON HERMANN. *Bericht...* Rapport de la commission pour l'exposition de l'industrie allemande à Munich en 1854. Gr. in-8. — Munich. 12 fr.

E.-A. JONAK. *Bericht...* Rapport sur l'exposition de l'industrie allemande à Munich. In-8. — Prague. 4 fr.

G. REBHAHN. *Theorie...* Théorie des constructions en bois et en fer. In-8. — Vienne. — 1re et 2e livraisons. 3 fr. 25 c.

R. BLUM. *Die Einschlusse...* Les minéraux enveloppés par d'autres minéraux cristallisés, leur composition et leur mode de formation. In-4. — Harlem. 13 fr. 35 c.

H. BURMEISTER. *Geologische...* Tableaux géologiques pour l'histoire de la terre et de ses habitants. Tome I. — Leipzig. 6 fr. 50 c.

A.-G. SCHRENK. *Ubersichte...* Recherches sur le système silurien supérieur de Livonie et d'Esthonie. In-8. — Dorpat, 1854. 3 fr. 25 c.

W. OECHELHAUSER. *Die Eisenindustrie*, etc. L'industrie du fer du Zollverein et ses nouveaux développements. In-8. — Duisbourg. 2 fr. 75 c.

E. STOLLE. *Industrie-Atlas* ...Atlas industriel. Fabrication du fer. — Chaque feuille se vend séparément 4 fr.

B. COTTA. *Die Lehre...* Étude des gîtes métallifères; 2e partie. In-8. — Freiberg. — Prix : 4 fr. 60 c. — L'ouvrage complet. 8 fr. 60 c.

VON HAUER et F. FOTTERLE. *Geologische...* Coup d'œil géologique sur les mines de l'empire d'Autriche. Gr. in-8. — Vienne. 4 fr. 60 c.

J. MOSER. *Zurfaden*, etc. Guide pour les analyses qualitatives et quantitatives appliquées à l'agriculture. In-8. — Vienne. 4 fr.

K. ELSNER. *Die Galvanische...* Dorure et argenture par la pile. Coloration des métaux par galvanisation. 3e édition, avec 2 planches. In-12. — Leipzig. 4 fr.

H. GIRARD. *Geologische...* Courses géologiques dans le Valais, le Vivarais, le Velay. In-8, avec cartes. — Halle. 6 fr.

T. HARTIG. Rapports des pouvoirs calorifiques de différentes espèces de bois et de tourbes. In-8. — Brunswick. 2 fr. 75 c.

F. MOHR. *Lehrbuch...* Manuel pour l'analyse chimique par les liqueurs titrées. In-8. — Brunswick. — 1re partie. 8 fr.

GEOLOGISCHE, etc. Carte géologique de la Hesse, à l'échelle de 1/50000; Section Friedeberg, par Ludwig. In-8, avec carte. — Darmstadt. 10 fr. 75 c.

BERNHARD COTTA. *Die Lehre...* Études des gîtes métallifères avec des figures dans le texte. In-8. — Freiberg, 1855. 8 fr. 50

LANGHELD (Carl). *Die Verhältnisse...* De la condition des ouvriers mineurs dans les mines royales de la Saxe. — Freiberg. 1855. In-8. 2 fr.

ITALIE.

L. BELLARDI. *Catalogo...* Catalogue raisonné des fossiles nummulitiques d'Égypte qui se trouvent au Musée royal de Turin. In-4, avec 3 planches. 4 fr. 50 c.

Idem. Description des conullaires fossiles des terrains tertiaires du Piémont. In-4. 6 fr.

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

ECOLE IMPÉRIALE DES MINES

ANNALES

DES MINES.

HISTOIRE ET DESCRIPTION

DES MINES ET FONDERIES DE PLOMB, ARGENT ET CUIVRE DE LA LOZÈRE.

Par M. LAN, ingénieur des mines.

Introduction. Tendance des capitalistes à se reporter vers l'exploitation des gîtes métallifères.

Le nombre des mines métalliques aujourd'hui exploitées en France est encore fort restreint, et pourtant bien des publications ont été faites, qui non-seulement prouvent l'existence de gîtes métallifères très-exploitables, mais encore indiquent les causes de l'abandon où ils sont restés jusqu'ici et les remèdes à apporter à l'état languissant de cette branche de l'industrie minérale. Malgré les efforts qu'elle a tentés souvent depuis l'époque de sa création, l'administration des mines n'a pu réussir à donner l'impulsion aux travaux de mines métalliques : l'insuccès de ces tentatives s'explique aisément. En France, la législation minière laisse aux particuliers l'initiative de pareilles entreprises : or, les capitaux qu'exige la mise en valeur des gîtes métallifères sont considérables, et trop souvent la faiblesse des sommes réellement engagées par des concessionnaires isolés, au début de l'exploitation, en a totalement compromis l'avenir. L'association pouvait seule apporter les capitaux nécessaires au bon aménagement des gîtes mé-

talliques; il fallait donc attendre que l'esprit public fût façonné aux spéculations industrielles. Cet effet se produit, tous les jours plus marqué, par le rapide développement de toutes les branches d'industrie en France; les capitaux sont devenus plus abondants et surtout moins craintifs, et il y a tout lieu d'espérer que ces circonstances favoriseront la reprise des mines métalliques.

Ce que nous disons là n'est d'ailleurs plus une pure hypothèse; déjà l'affluence des capitaux vers les entreprises de mines métalliques s'est fait sentir sur plusieurs points de l'Empire.

Dans *la Lozère* et *les Cévennes*, les affaires déjà anciennes tendent à se développer; de nouvelles mines ou d'anciennes abandonnées sont aujourd'hui en exploitation. Aux environs d'*Alais* (*Gard*) s'élèvent des usines pour le traitement des minerais de plomb, argent, zinc et peut-être bientôt de cuivre. Non loin de là, à *Marseille*, les fonderies pour plomb et argent se développent, et peut-être parviendra-t-on aussi à relever certaines fonderies de cuivre, en souffrance jusqu'ici.

La facilité de tirer un parti immédiat des minerais extraits, en les livrant aux usines dont nous venons de parler, a permis de reprendre d'anciennes mines, comme celle de l'*Argentière* (*Alpes*), et les travaux conduits avec habileté sont dans une période de production ascendante et de bénéfices déjà considérables.

Le mouvement industriel semble donc conduire les capitalistes vers l'exploitation des gîtes métallifères. C'est dans de semblables circonstances qu'une histoire complète des exploitations antérieures serait nécessaire aux nouveaux entrepreneurs, une histoire où ils pussent saisir les difficultés de ce genre d'entreprises et

apprendre à se prémunir contre le danger des exagérations de toutes sortes, où l'on tombe si souvent au sujet des mines métalliques. De nombreux fragments de cette histoire se trouvent dans le *Journal* et dans les *Annales des mines*. On trouve dans les *Travaux statistiques de l'administration des mines en* 1847, une notice sur l'exploitation des métaux autres que le fer, où M. *Le Play*, ingénieur en chef des mines, formule d'une manière si remarquable les causes de l'infériorité actuelle des mines métalliques.

Le mémoire de MM. *Rivot* et *Zeppenfeld* sur les mines et usines de Pontgibaud (*Annales des mines*, 1850), en montrant les diverses phases par lesquelles cette affaire est passée si rapidement, contient de très-utiles renseignements pour qui voudra se livrer à l'exploitation des minerais métalliques. C'est guidé par nos habiles devanciers que nous avons entrepris un travail pareil sur les mines de la *Lozère*, dont nous avons déjà présenté l'ensemble dans un premier mémoire (*Annales des mines*, 6e livraison, 1854).

Division du mémoire.

Ce nouveau mémoire sera divisé en trois chapitres :

Le premier sera consacré à l'histoire et à la description des mines et usines de *Vialas* et *Villefort*.

Le second comprendra ce qui est relatif aux mines de *Bluech* et *Pradal*, de *Bèdouès* et *Cocurès* et *aux gisements d'alquifoux*.

Le troisième sera réservé à la description des quelques travaux qui ont été ouverts sur les mines diverses connues *aux environs de Meyrueis;* enfin, nous y placerons aussi un résumé et nos conclusions sur l'ensemble de toutes les mines métalliques de la Lozère.

CHAPITRE PREMIER.

MINES ET USINES DE VIALAS ET VILLEFORT.

Introduction historique sur les mines de Vialas et Villefort.

Les gîtes métallifères de la Lozère, en général, et ceux de Vialas et Villefort en particulier, présentant presque toujours du minerai à la surface même, ont dû être exploités au moins superficiellement, il y a fort longtemps. On n'a cependant rencontré que des indices incertains d'exploitation par le feu, dans quelques-uns des anciens travaux de Vialas. Toutefois, d'anciens documents permettent de supposer que déjà au XIIe siècle les évêques de *Viviers* et leurs inféodés, les comtes de *Toulouse*, retiraient annuellement de notables quantités d'argent des mines du *Gévaudan*.

Depuis ces temps reculés, des mineurs allemands et piémontais ont souvent exploité les divers gîtes pour alquifoux qu'ils vendaient aux potiers; mais leurs travaux n'ont jamais eu ni continuité ni durée.

Dans la première moitié du XVIIIe siècle, des sociétés de *Paris* et de *Lyon* reprirent les exploitations partielles de *Bayard*, *la Garde*, etc., y établirent des *bocards à bras* et quelques petits fourneaux avec *soufflets de forge*. Mais ce n'est guère que vers 1768 ou 1769 que de nouveaux entrepreneurs attaquent plus hardiment les gîtes des environs de *Villefort*.

Malheureusement une direction habile manqua totalement au début de cette entreprise. Avant d'avoir, même superficiellement, exploré les gîtes à exploiter, on avait construit une fonderie, et sur les bords du *Rhône*, à *Roquemaure*, c'est-à-dire à 60 ou 65 kilomètres des mines, avec des chemins le plus souvent à peine praticables aux mulets. Qu'on joigne à cela la multiplicité

des employés de toutes sortes, l'absence d'un directeur capable sur les lieux, et l'on s'expliquera pourquoi en 1774 ou 1775 les travaux étaient dans une langueur désespérante et pourquoi de nouveaux appels de fonds trouvaient si peu de souscripteurs.

Les exploitants de 1769 à 1773 étaient des gentilshommes peu au fait d'entreprises pareilles, qui se brouillèrent à plusieurs reprises par suite du désordre de leur administration; les fonds peu considérables dont ils pouvaient d'ailleurs disposer furent rapidement épuisés, non pas tant encore sur les mines que dans les travaux inutiles entrepris à Roquemaure.

En 1773, ces gentilshommes s'associèrent avec des négociants de Lyon, dont les uns, leurs créanciers, entraient sans autre apport que leurs créances et les autres comme bailleurs de fonds; mais ceux-ci se retirèrent frauduleusement, et en 1774, l'affaire fut suspendue pendant deux ans, avec des dépenses et des dettes considérables.

L'affaire fut reprise en 1776 ou 1777. M. le marquis *de la Rivaux*, resté seul des anciens exploitants, obtint, par arrêt du conseil d'État du 8 juin 1776, la concession temporaire de ces mines exploitées jusque-là sur permission provisoire. Il vendit cette concession à une compagnie de Paris moyennant 154.585 francs (1). Cette somme pouvait couvrir à peu près les dépenses faites jusque-là, mais elle était singulièrement exagérée, eu égard aux travaux alors exécutés. En se réorganisant, l'entreprise prit une nouvelle activité. Un comité des principaux intéressés fut établi à Paris pour

(1) Des décrets impériaux de 1805 et 1808 autorisent cette cession et augmentent la durée de la concession, qui devient perpétuelle par la loi de 1810.

correspondre avec le directeur résidant sur les lieux. Des rapports fréquents étaient adressés des mines à l'administration centrale, qui d'ailleurs envoyait de temps à autre des députés sur les lieux.

Quant à l'administration locale, elle se composait d'*un directeur* assisté d'*un contrôleur*, *un inspecteur*, *un garde-magasin* et de *chefs d'atelier*. Tous se réunissaient à la fin de chaque semaine, délibéraient sur ce qui avait été fait ou était à faire et envoyaient leurs délibérations à Paris, où le comité décidait. Le contrôle était donc très-étendu de la part du comité parisien sur la conduite des travaux : la centralisation était peut-être même gênante pour l'initiative de l'administration locale ; ce ne fut pourtant que longtemps après qu'on étendit avec raison les pouvoirs du directeur sur les lieux.

On commença en 1777 par former un premier fonds de 150.000 fr. qui, joint au prix d'achat de 154.585 fr., porte le capital d'installation à 304.585 fr. On avait presque tout à faire, car l'ancienne exploitation était à peu près nulle.

Les premiers travaux de la nouvelle compagnie furent faits sous la direction de *Gensanne* sur les filons de plomb argentifère de *Peyrelade* et sur le gîte de cuivre pyriteux de *Freissinet ;* les premiers résultats étant satisfaisants, on se pressa beaucoup trop de construire ou d'acheter la fonderie de Villefort. En effet, en très-peu de temps, on eut exploité les colonnes de minerai que les travaux peu considérables d'ailleurs avaient découvertes à Peyrelade ; on attaqua alors l'énorme filon de *Mazimbert* et on entreprit même de nouvelles fouilles sur bon nombre de points connus des anciens ; mais nulle part les travaux ne purent être poussés vigoureusement, à cause de leur dissémination

même, et les premiers fonds étant déjà consommés.

En 1781 ou 1782, on désespérait du succès de l'entreprise, quand le hasard fit découvrir les affleurements si riches du *Colombert* et de la *Picadière* à *Vialas*. On abandonna la plupart des travaux de Villefort, et tout en y conservant l'usine, on commença l'exploitation à Vialas. Les fonds nécessaires à ces premiers travaux furent pris sur de nouvelles avances de la compagnie, et dont la somme s'était élevée à 180.000 francs vers 1791 ou 1792.

L'exploitation de Vialas ayant d'ailleurs été productive dès le début, il fallut établir des bocards et laveries auprès des mines. Le minerai préparé était ensuite transporté jusqu'à la fonderie, à dos de mulets, par des chemins fort difficiles. D'ailleurs, soit par défaut de ressources, soit plutôt par suite du peu de confiance des anciens dans la continuité des gîtes métalliques, les travaux d'aménagement étaient beaucoup trop restreints : l'exploitation était par suite dans des conditions fort désavantageuses et conduite au jour le jour ; l'épuisement et l'extraction étaient fort coûteux, de même que les transports de la mine au bocard. Cependant, malgré toutes ces chances défavorables, si l'affaire ne donnait pas de bénéfices, elle n'offrait pas non plus de grandes pertes, et l'on peut dire que, pendant les premières années de l'exploitation de Vialas, les produits faisaient face ou à peu près aux intérêts des premières sommes engagées.

Bientôt arrivèrent des temps plus difficiles. Au moment de la Révolution, la main-d'œuvre doubla ; les objets de consommation, comme huile, poudre, fer, acier, etc., devinrent rares et d'une cherté excessive. Les transports ne s'effectuaient plus que d'une manière irrégulière et insuffisante au roulement normal des

établissements; vinrent encore la disette et le manque de bras, d'autant plus effrayants pour l'entreprise, qu'elle se trouvait dans un pays des plus pauvres en produits alimentaires. Le tiers en sus payé conformément à la taxe sur le prix des plombs mis en réquisition par les armées de la république, ne suffisait pas à couvrir le tiers du surcroît des dépenses; en sorte que, dès la deuxième année de la république, les pertes de l'entreprise étaient très-considérables. De ce moment date aussi la destruction des forêts de la *Lozère*, coup funeste pour la fonderie de Villefort et qu'on doit déplorer aujourd'hui plus que jamais, sous plus d'un rapport, mais plus particulièrement au point de vue des mines métalliques.

L'absence des bois empêchera peut-être longtemps de tirer un parti convenable des gîtes importants d'alquifoux répandus sur les pentes de cette haute montagne.

Malgré tant d'entraves, les concessionnaires de Vialas ne se décourageaient pourtant pas, et l'exploitation fut poursuivie pendant la république, mais sans activité.

Sous l'Empire, on était entré en galeries sur de nouveaux filons découverts pendant que l'exploitation s'arrêtait peu à peu dans les premières mines, par suite d'une extraction et d'un épuisement de plus en plus coûteux, conséquence inévitable du mode d'exploitation suivi depuis l'origine de l'entreprise. Jusqu'en 1815 ou 1818, les mines isolées du *Bosviel*, du *Colombert* et de la *Picadière* alimentent la fonderie de Villefort avec des alternatives diverses, mais sans jamais donner de résultats satisfaisants : il y avait à cela plusieurs raisons. Après *Gensanne*, la direction était devenue peu active; la surveillance dans les mines étant à peu près nulle, les ouvriers laissaient souvent, avec intention, les veines minérales de côté, comme l'ont prouvé des massifs intacts retrouvés depuis au milieu des anciens travaux; l'absence de capitaux arrêtait l'exécution de travaux d'aménagement qui, par la jonction de diverses mines, eussent paré aux difficultés de l'extraction et de l'épuisement; les frais de transport du schlich, de Vialas à Villefort, étaient énormes, et le travail des ateliers de préparation de la fonderie péchaient par plus d'un point.

Toutes ces causes d'insuccès étaient comprises de la compagnie, et déjà en 1820 ou 1821 on songeait à des ouvrages d'ensemble dans les mines, en même temps qu'à la translation de l'usine de Villefort à Vialas. La direction était devenue meilleure, et l'adjonction d'un ingénieur au fait de ces travaux avait ramené peu à peu l'ordre dans l'exploitation. Grâce à l'intervention de quelques capitalistes, on fit les changements projetés : la fonderie fut installée à Vialas en 1827 ou 1828 et l'on entra en galeries pour réunir les diverses mines; mais les nouveaux fonds étaient insuffisants pour couvrir les dépenses nécessitées par tous ces travaux. Les produits de l'exploitation ne pouvant d'ailleurs faire face à de nouveaux déboursés, malgré une direction active et intelligente des travaux des mines, le malaise de l'entreprise augmenta peu à peu, jusqu'à ce que les sécheresses extraordinaires de l'année 1837 ayant encore subitement amoindri les ressources de la production, on se vit obligé d'abandonner presque totalement l'établissement; les ateliers chômèrent pendant un an environ : on n'avait gardé que dix mineurs.

C'est dans cette situation que la compagnie s'adjoignit, en 1838, de nouveaux capitalistes et se reconstitua.

Les nouveaux actionnaires apportaient 600 000 fr.,

et la mine fut estimée dans le fonds social pour un chiffre très-élevé; mais la prudence conseilla aux anciens concessionnaires de réduire cette estimation, et quelque temps après le fonds social fut, nous dit-on, fixé à 1.800.000 francs, la mine et les établissements y entrant donc pour 1.200.000 francs (1). Malgré l'élévation du capital à desservir, à partir de cette réorganisation, l'entreprise est décidément devenue avantageuse. Avec les fonds dont on disposait, on créa un nouveau matériel; on rappela, quoique avec de grandes difficultés, les ouvriers qui avaient émigré pendant l'interruption; on développa tout un système d'aménagement qui préparait un avenir certain aux mines de Vialas, en reliant tous les anciens travaux et poursuivant ainsi en profondeur, toutes les veines jusque-là exploitées ou grappillées dans les parties élevées. Si la compagnie de Vialas, quelques années, plus tard touchait enfin quelques bénéfices réels, elle en devait la plus large part à l'active direction qui présida à la reprise des travaux en 1838. L'aménagement était habilement conçu, et c'est par la poursuite des ouvrages entrepris en 1838 et 1839 que l'exploitation a pu atteindre à une production régulière, comme celle obtenue depuis dix à quinze ans. Il est cependant très-regrettable qu'en 1838 et pendant les deux ou trois années suivantes, on ait encore voulu trop faire à la fois. Tandis qu'on s'occupait des travaux d'avenir dont nous venons de parler, une partie des fonds était consacrée à la mine de houille de Comberedonde, qui n'a presque

(1) Il est bon d'ajouter que, dans cette affaire, entraient aussi les mines de houille de *Comberedonde* et les mines d'antimoine d'*Auzonnet*, qui ne paraissent jamais avoir donné de bénéfices notables.

rien produit; de plus, au milieu des changements dans la fonderie et dans les ateliers de préparation, on installait une fabrique de céruse, qu'on fut obligé d'abandonner très-peu de temps après. Les dépenses ainsi faites en dehors de l'exploitation des mines métalliques diminuèrent les ressources dont on aurait pu disposer pour l'exécution complète de travaux d'avenir. Aussi fut-on obligé de renoncer à suivre certains ouvrages entrepris et de se borner jusqu'en 1854 à des travaux dans les filons déjà reconnus, les sommes destinées annuellement aux travaux d'art étant trop peu considérables.

Il en a été de même dans les ateliers de préparation et dans la fonderie: certaines modifications projetées en 1838, et reconnues nécessaires par tous ceux qui ont visité Vialas, n'ont pu être exécutées; il en résulte que la partie technique dans la marche générale de l'entreprise laisse beaucoup à désirer. Si, grâce à l'impulsion donnée aux travaux en 1838, grâce à l'ordre et à l'économie avec lesquels l'affaire est menée depuis douze ou quinze ans, les actionnaires ont perçu des revenus très-satisfaisants, il est bon d'ajouter que quelques sacrifices sur leurs dividendes eussent pu assurer, par des travaux d'art, *menés peu à peu tous les ans*, l'avenir de leurs mines. Par quelques changements *graduels* dans les ateliers de préparation et dans la fonderie, ils eussent trouvé un rendement plus avantageux de leurs minerais. Mais la discussion de ces faits trouvera sa place plus tard. D'ailleurs, à la suite des beaux bénéfices réalisés en 1852-1853, les actionnaires ont apprécié l'importance de ces changements, et s'ils sont effectués *avec prudence*, l'affaire de Vialas a encore un bel avenir devant elle.

Pour le moment, nous n'avons voulu qu'esquisser

l'histoire de cette entreprise, et montrer qu'ici les causes de succès ou d'insuccès se sont montrées les mêmes que dans la plupart des affaires de ce genre : en effet, en résumant cette histoire, nous trouvons :

De 1768 *à* 1776. Deux ou trois propriétaires comme exploitants. Travaux de mines sans suite. Dépenses irréfléchies, dans l'installation d'une fonderie trop éloignée des mines, sans minerai pour l'alimenter.

En 1777. Concession temporaire accordée à M. le marquis de la Rivaux. Vente de ce dernier à une société de Paris, pour un prix bien supérieur à la valeur réelle de la concession, alors inconnue.

De 1777 *à* 1792. Organisation nouvelle. Installation trop précipitée de la fonderie à Villefort. Découragement produit par le peu de continuité des filons de Villefort. Découverte de Vialas. Insuffisance des fonds pour travaux d'avenir. Malaise de l'exploitation.

De 1792 *à* 1800. Crise politique. Pertes considérables de l'entreprise.

De 1800 *à* 1825 *ou* 1826. L'exploitation, obligée de se soutenir elle-même dans des conditions de plus en plus défavorables, végète ou donne seulement quelques médiocres résultats. La direction locale, pendant la première partie de cette période, manque d'activité et d'habileté.

De 1827 *à* 1857. Apport de quelques capitaux insuffisants pour les opérations exécutées ou projetées, entre autres la translation de la fonderie à Vialas. Grandes sécheresses qui arrêtent la production et annulent les ressources de l'exploitation. Arrêt et suspension d'un an.

De 1838 *à* 1854. Apport de capitaux qui permettent le développement des travaux d'avenir. Période de bénéfices croissants.

Si maintenant nous entrons dans les travaux entrepris sur les divers gîtes de la concession, nous verrons qu'il n'a rien moins fallu que la succession des circonstances défavorables que nous venons d'analyser pour qu'avec une source de production pareille, on n'arrivât pas plus rapidement à recueillir des bénéfices.

Nous décrirons successivement *les mines*, *les ateliers de préparation mécanique et la fonderie ;* puis, résumant les diverses circonstances de l'état actuel de cette entreprise, nous dirons ce qu'elle peut promettre dans l'avenir.

§ I. *Mines de Villefort.*

Les seuls travaux un peu importants entrepris sur les gîtes de cette partie de la concession de Vialas et Villefort sont ceux *du Mazimbert*, *de Peyrelade*, de la mine de *cuivre de Freissinet*.

Travaux du Mazimbert. (Pl. II, *fig.* 5.)

Malgré sa position avantageuse au point de vue de l'exploration et sa proximité des eaux pour la préparation du minerai, le filon du Mazimbert ne semble pas avoir été attaqué par les anciens. Les premiers travaux datent de 1770 : ils consistent en une galerie de 15 à 20 mètres, au bout de laquelle on fonça un puits sur le minerai. Ce puits, dit *Demory*, a 32 mètres de profondeur. La galène s'y trouvait, dit Gensanne, sur le quartz et rarement sur le spath pesant ; la teneur en argent augmentait avec la profondeur ainsi que la puissance de la veine minérale ; en même temps il avait observé que la baryte, abondante dans la partie supérieure, disparaissait à 20 ou 25 mètres de profondeur ; mais jusqu'au fond du puits, le minerai était très-disséminé et peu abondant.

Au fond du puits *Demory*, on ouvrit plus tard deux galeries en direction à l'est et à l'ouest : on y trouva du minerai très-argentifère ; mais faute d'air on les

arrêta en 1779. Pour aérer et épuiser ces travaux, on avait commencé deux autres percements inférieurs, dits galeries *Gensanne* et *Meulan* (*fig.* 5, Pl. II). La galerie Gensanne, placée à 3m.90 au-dessous du fond du puits Demory, atteignit le filon métallique à 44 mètres de son entrée et le suivit sur 40 mètres, sans parvenir tout à fait à l'aplomb du puits Demory; vers l'extrémité de cette galerie, le filon paraît se diviser en deux veines qu'on a peu étudiées; sur le point le plus riche en minerai, on fonça *le puits Gensanne*, arrêté à 19 mètres de profondeur à cause de l'abondance des eaux: les apparences étaient d'ailleurs les mêmes qu'au fond du puits Demory. La galerie Meulan, ouverte à 39 ou 40 mètres au-dessous du percement Gensanne, devait avoir 400 mètres de développement pour atteindre la verticale du puits Demory: on l'arrêta à 150 mètres, à cause de la dureté du rocher et de la rareté de la galène. Remarquons toutefois que cet abandon coïncide avec la découverte des mines de Vialas.

En résumé, ces travaux n'ont donné que des résultats insignifiants; profitant des circonstances locales, on a bien échelonné les percements. Mais il semble qu'on n'ait eu pour but que d'atteindre la partie minérale et nullement de la poursuivre; car toutes les galeries s'arrêtent à la région minéralisée, et aucun de ces ouvrages ne nous paraît l'avoir suffisamment suivie en longueur. Nulle part non plus nous ne voyons de traverses, travail si nécessaire dans l'exploration de gîtes de cette puissance.

Travaux de Peyrelade. (Pl. II, *fig.* 6).

Parmi les huit ou neuf veines qui se montrent à la surface, dans le ravin de *Peyrelade*, on n'en a attaqué que trois: les deux plus voisines du chemin de *Villefort* aux *Aydons* et celle dite du *Bocard*, à la rencontre des ravins de *Peyrelade* et des *Balmelles*. Les travaux des

deux premiers filons sont désignés sous les noms des exploitants de 1770, de *Maulèvrier* et de *la Rivaux*.

Filon n° 1.

La galerie Maulévrier, poussée en direction sur le filon n° 1, a 200 mètres de longueur: à son extrémité *est* le minerai s'est présenté sur une épaisseur de 0m,30, moitié en galène massive, moitié en minerai de bocard; on s'éleva là par un petit travail en gradins qui produisit assez de minerai. On fonça ensuite un puits qu'on dut abandonner faute d'air. C'est pour arriver sous ce point qu'on avait commencé à 12 ou 15 mètres en dessous la galerie Saint-Jean; elle ne fut prolongée que de 25 à 30 mètres, malgré quelques beaux rognons de minerai qu'on en retira. Dans tous ces travaux le filon est vertical, bien réglé, et semble s'enrichir en profondeur.

Filon n° 2.

Sur le filon n° 2, il y a encore deux étages de travaux: le premier comprend la galerie *Luchet;* le second le puits *Brulard*, la galerie *la Rivaux* et les ouvrages qui en dépendent.

La galerie *Luchet* a 150 à 160 mètres. Au fond de cette galerie la veine minérale avait 15 à 20 centimètres de minerai de bocard. A 80 mètres de l'entrée, on a, dans une partie riche, foncé un puits de 6 mètres de profondeur, au bas duquel on a élevé deux ouvrages en gradins renversés. Dans les gradins de l'est, la veine atteint 0m,25 de puissance, en mélange de minerai massif et de minerai de bocard. A l'ouest, la puissance en minerai variait entre 0m,25 et 0m,30; enfin sur quelques points, on avait trouvé des filigranes d'argent natif.

La galerie *la Rivaux* a environ 200 mètres de longueur, sur un minerai semblable à celui des travaux précédents. A peu de distance de l'entrée et à droite de cette galerie, se trouve le puits *Brulard*, de 14 à 15 mètres de profondeur; au fond, s'étendent, à l'est

et à l'ouest, des gradins qui ont produit le même minerai qu'au premier étage.

Enfin, pour atteindre les filons nos 1 et 2 à un niveau inférieur et à peu près sous la verticale du puits Brulard, on avait entrepris deux percements, quelque temps avant l'abandon de ces mines.

Filon du Bocard.

Le seul travail essayé sur le filon du *Bocard* consiste en une galerie de 12 à 15 mètres de longueur en direction : le minerai s'est constamment soutenu sur une épaisseur de 1 mètre.

Tous les travaux de Peyrelade sont, comme ceux de Mazimbert, insuffisants pour permettre une saine appréciation de la richesse de ces gîtes. Quoique paraissant bien réglés, avec des apparences encourageantes, ces filons furent laissés en 1780 : la dureté du rocher, l'éloignement et le défaut de communication, mais par-dessus tout le manque de ressources et l'espoir d'une exploitation plus avantageuse à Vialas, voilà les motifs qui ont alors fait abandonner ces mines, pour n'y plus revenir sérieusement depuis.

Travaux de la mine de cuivre de Freissinet. (Pl. II, *fig.* 9.)

On n'a exploré à Freissinet que la partie du filon qui affleure à l'*est* du ruisseau des *Paillières* et les travaux comprennent trois étages.

La galerie la plus élevée a 60 ou 80 mètres de longueur ; le minerai déjà abondant à la surface s'y est maintenu sur 50 à 60 mètres ; mais à cette distance de l'entrée de cet étage, le filon devint pourri, plein de débris schisteux, sans aucune apparence minérale ; un puits foncé à l'extrémité de cet étage fit voir la limite précise du massif minéral.

La galerie d'allongement faisant deuxième étage a été ouverte à 20 mètres au-dessous de la première, et sur une longueur de 90 à 100 mètres : elle ne trouva de minerai, mais assez abondant, que jusqu'à l'aplomb

de la partie pourrie du premier étage. Enfin la troisième galerie, partant des bords du ruisseau de Paillières, ne trouva de minerai que sur une vingtaine de mètres de longueur.

Le massif de minerai cuivreux, découvert aux trois étages, suit donc à peu près, dans ses contours, la pente de la montagne. L'exploitation de ce massif par divers ouvrages reliant les trois étages a duré dix ans, et considérant le gîte comme épuisé, après son enlèvement, on abandonna les travaux vers 1780, pour n'y plus revenir depuis. Les résultats généraux paraissent avoir été assez médiocres. Le minerai fourni par cette exploitation contenait de la pyrite cuivreuse sur quartz, schistes et sulfate de baryte ; d'un traitement métallurgique très-facile, il était fondu à l'usine située près de là, et rendait 20 à 30 p. 100.

L'allure du massif cuivreux semble indiquer que sous le ruisseau de Paillières et à l'ouest, dans les prairies du *Pouget*, on pourrait retrouver la continuation de la veine minérale ; enfin, à l'est, on supposait les travaux arrêtés par quelque dérangement, dont l'examen des affleurements ne permet pas de prévoir l'allure, sans quelques fouilles superficielles : on ne les a pas entreprises en raison du peu de succès de l'exploitation précédente.

Travaux divers aux environs de Villefort.

Nous avons peu de chose à dire des ouvrages irréguliers commencés sur les filons de galène, généralement peu argentifère, de *Bayard*, *la Garde*, *Ranchime*, *le Loubat*, *la Rouvière*, *la Devèze*, *Valcrouzès*, etc., et abandonnés comme trop pauvres pour payer les frais d'exploitation. La dissémination et le peu d'étendue de tous ces travaux prouvent, encore une fois, que, pressé de produire avec une *concession inexplorée*, on sondait

tous les points successivement, mais sans en reconnaître aucun d'une manière un peu complète.

Bocards et fonderie de Villefort.

Pour terminer ce qui est relatif à cette première période de l'entreprise, deux mots des ateliers installés auprès de Villefort.

Près des mines, et particulièrement à *Peyrelade*, à *Bayard*, au *Mazimbert*, on avait installé des bocards à bras d'abord, mais remplacés quelque temps après par des bocards à eau avec lavoirs sur des tables et dans des caisses allemandes. On pratiquait d'abord un *scheidage* pour retirer le *massif* et l'on bocardait le reste, mais, dit Gensanne, déjà à cette époque le *scheidage* n'était pas poussé assez loin et le bocardage était trop fin. Nous verrons plus tard que la préparation mécanique actuelle, basée sur les mêmes principes que l'ancienne, présente encore ces défauts.

La fonderie de Villefort comprenait à peu près ce qui se trouve aujourd'hui à Vialas : on y voyait *deux fours à manche*, *un four à réverbère simple pour le grillage*, *un fourneau de coupelle*, *un réverbère pour raffinage du cuivre*; ce dernier appareil était devenu inutile et a été supprimé à Vialas. Le traitement métallurgique était le même qu'aujourd'hui : le minerai préparé grillé et *vitrifié*, dit Gensanne, dans un four à réverbère, était fondu au four à manche pour plomb d'œuvre à coupeller; les combustibles seuls différaient : on n'employait guère, à Villefort, que du bois et du charbon de bois.

Avenir des mines de Villefort.

Quelque peu étendues qu'aient été les recherches sur les gîtes des environs de Villefort, les apparences sur la plupart n'encouragent pas à une reprise de travaux, qui coûterait vraisemblablement beaucoup. Avec l'état actuel des communications, la position de la fonderie, les difficultés de l'approvisionnement en combustibles, il n'y aurait qu'un ou deux points où l'on pourrait tenter de nouvelles recherches. Peyrelade surtout mériterait peut-être une nouvelle exploration.

§ II. *Mines de Vialas.*

Mode de description des travaux.

Si nous bornions notre description aux travaux actuels de Vialas, nous nous éloignerions du but que nous nous sommes proposé. Nous voulons, en parcourant les travaux tant anciens que nouveaux ouverts sur les divers filons connus à Vialas, qu'on trouve dans notre travail, non-seulement les circonstances de l'allure intérieure des gîtes, mais encore qu'on puisse en conclure quelle somme de richesses minérales s'y trouvait accumulée, ce qu'on en a retiré et ce qu'on peut en attendre; nous voudrions encore, par notre description, motiver certaines observations générales présentées dans l'histoire de cette exploitation. C'est pourquoi nous étudierons successivement les travaux qui se rapportent aux quatre périodes suivantes : 1781-1800, 1800-1825, 1825-1837, 1837-1854.

1. Première période, 1781-1800.

Dans la première période, on attaqua isolément les filons et on commença l'exploitation des mines de la *Picadière*, du *Bosviel* et du *Colombert*. On se borna à quelques fouilles sur les filons du *Nord* et du *Sud*, au *Chauffez*, au *Villaret*, au *Massufret*, au *Clot*, à *Soleyrols*, etc., etc.

Mine de la Picadière. (Pl. II, *fig.* 2.)

Par quelques travaux superficiels, il fut rapidement reconnu que le filon se composait de trois branches assez voisines : la première au nord, éminemment barytique, était éloignée de 10 à 15 mètres des deux autres; celles-ci, quartzo-schisteuses, étaient seulement séparées par un mince filet de schistes.

Vers les dernières années du XVIIIe siècle, on avait déjà préparé ou exploité partiellement quatre étages de travaux : un cinquième était même commencé.

Tracé des divers étages.

Le premier, le plus élevé, avait été tracé par le percement appelé n° 1 de la Picadière. Au point où ce percement avait coupé le filon, on s'était étendu à l'*ouest* sur une longueur de 25 à 30 mètres et à l'*est* par une galerie qui alla sortir au ravin de la *Fève*.

Sur ce premier plan, on fonça successivement deux puits : l'un à l'est et l'autre à l'ouest du percement; à la profondeur de 20 mètres, ils furent reliés par des galeries horizontales étendues à l'est et à l'ouest, de manière à donner un second plan, de 140 mètres de longueur environ et distant de 20 mètres du premier. On subdivisa d'ailleurs le massif compris entre ces deux niveaux par de nouveaux puits et on y établit immédiatement des gradins. Cette exploitation ainsi préparée accumula beaucoup d'eau dont l'écoulement nécessita l'ouverture d'un deuxième percement : il fut ouvert au niveau du deuxième plan et mené parallèlement au premier : de son entrée, placée près du ravin de la *Fève* jusqu'à sa rencontre avec le filon, cette galerie de traverse a 140 mètres.

Du second plan, aéré et dénoyé, on descendit par des puits à la profondeur de 20 mètres, où l'on établit un troisième plan de 190 à 200 mètres de longueur.

Pendant qu'on poursuivait l'exploitation des massifs supérieurs au troisième niveau, on ouvrait un troisième percement dit le *Grand percement de la Picadière*. A 25 mètres en contre-bas du troisième plan, cet ouvrage a son entrée près du ruisseau de la Picadière, marche du nord au sud et atteint le filon à 190 mètres de son entrée : pour abréger le travail, on était même descendu déjà par un puits placé vers la mi-longueur

du troisième plan, et du fonds de ce puits une traverse au nord marchait à la rencontre du grand percement. Un quatrième plan fut ensuite tracé à ce niveau.

Enfin du quatrième plan quelques puits avaient été foncés de 20 ou 22 mètres pour fixer le cinquième.

Limites des étages.

Tous les étages de cette mine étaient limités :

A l'ouest, par une faille argileuse à peu près parallèle au grand filon du sud, qui affleure un peu au-dessus des percements de la Picadière.

A l'est, par un amincissement des veines minérales.

Tel était l'ensemble de la mine de la Picadière vers 1795; voyons ce qu'on avait retiré des ouvrages entrepris sur chacun des cinq étages.

Richesse reconnue dans ces travaux, allure des veines minérales.

Aux premier, deuxième et troisième étages, il ne paraît pas qu'on ait exploité la *branche du nord*; ce n'est qu'au quatrième plan qu'on la trouve assez riche en minerai. On la voit désignée sous le nom de *filon du grand percement*, tandis que les autres sont exploitées sur les cinq étages sous le nom de *veines de la Picadière*.

Du premier plan jusqu'au jour, les veines de la Picadière n'ont donné que très-peu de minerai; mais la teneur en argent atteignait 500 à 600 grammes d'argent au quintal de plomb d'œuvre : l'exploitation ne pouvait être qu'irrégulière, le filon étant encore là peu réglé, les veines discontinues, courant du toit au mur.

Du premier au deuxième niveau, comme du deuxième au troisième, les veines étaient plus continues, avec une puissance de 25, 30 et 40 centimètres, en minerai presque massif et toujours très-argentifère. Sur la longueur totale de 140 mètres qu'occupaient les massifs entre le premier et le deuxième plan, on a exploité en gradins continus sur 90 à 100 mètres. Entre le deuxième et le troisième niveau, sur un développement total de

190 à 200 mètres, on a enlevé un premier massif de 30 mètres au-dessous et à l'aplomb du deuxième percement et un second de 90 mètres dans la partie occidentale du filon.

Ainsi jusqu'au niveau du troisième plan la longueur des travaux productifs est au développement total comme 2 est à 3; et, quand nous parlons de *travaux productifs*, nous remarquerons qu'ils devaient l'être réellement beaucoup; car on négligeait alors tout ce qui donnait une proportion un peu forte de minerai de bocard. C'est ainsi qu'il faut comprendre la phrase suivante d'un rapport du temps : « *On a épuisé le filon sur toute la hauteur des trois premiers étages.* »

Déjà au troisième plan le filon s'est sensiblement élargi et le minerai s'y trouve plus disséminé. Aussi les travaux ouverts à l'est et à l'ouest du grand puits, allant du milieu du troisième au quatrième plan, ont-ils généralement moins produit qu'au-dessus.

A 5 ou 6 mètres au-dessus du fond de ce grand puits, le minerai disparut, de sorte qu'au lieu de s'étendre en direction au niveau même du grand percement, sur les veines de la Picadière, on dut remonter de 5 à 6 mètres. La galerie *occidentale* ouverte à cette hauteur a été à peu près stérile; on remonta encore, et à 6 mètres au-dessous du troisième plan et toujours à l'ouest du grand puits, on en a poursuivi une nouvelle sur 80 ou 85 mètres sans plus de succès. On s'est alors rejeté sur la portion à l'*est* du grand puits. La première des galeries précédentes fut suivie vers l'est : elle a trouvé deux colonnes de minerai qu'on a pu exploiter jusqu'au troisième plan en remontant; mais la longueur des parties exploitables ne dépassait pas 8 à 10 mètres. En somme, le massif du troisième au quatrième niveau paraît donc avoir été assez pauvre. Il serait possible

aussi qu'avec le système d'exploitation adopté, c'est-à-dire en allant par allongements et descenderies sans traverses fréquentes, on eût négligé quelques veines exploitables dans cette partie renflée du gîte.

Par contre, aux niveaux des troisième et quatrième plans, le *filon du grand percement* a été d'une exploitation assez avantageuse. A partir de sa rencontre par le grand percement, on s'est allongé à l'est sur 100 à 110 mètres et à l'ouest sur 30 ou 32 mètres, après lesquels le filon devenait stérile. Des deux côtés on s'est mis en communication avec les ouvrages des veines de la Picadière au même niveau. Le filon du grand percement a été exploitable sur toute la hauteur du quatrième au troisième plan et sur tout le développement des galeries de niveau. Au-dessus du troisième plan il devenait stérile. En général le minerai sorti était d'un grain plus grossier et moins argentifère que dans les autres veines (250 à 300 grammes d'argent au quintal de plomb d'œuvre).

Les travaux entrepris au-dessous du quatrième plan pendant cette première période, tant sur le filon du grand percement que sur les veines de la Picadière, ne semblent pas avoir été bien avantageux.

D'une part, sur le premier, on fonça un puits à 20 mètres à l'ouest du percement; arrivé à 15 ou 20 mètres, il perdit le minerai, et les 40 ou 50 mètres de galerie faits au fond de ce puits, pour fixer le cinquième plan, n'ont pas donné de minerai en quantité exploitable; on fit même, dans le but de retrouver quelques veines minérales, plusieurs traverses infructueuses.

D'autre part, on explora complétement les massifs, au-dessous du troisième et du quatrième plan, dans la partie ouest de la Picadière. Nous avons dit tout à l'heure que, du milieu du troisième plan au quatrième,

avait été foncé le grand puits, d'où l'on avait, à trois niveaux intermédiaires, poussé des galeries occidentales sans succès : on ne se borna pas là. Du troisième plan, on fonça un nouveau puits dans la région ouest jusqu'au quatrième, et puis un autre, du quatrième au cinquième. Sur la hauteur de ces deux puits, on put établir quelques exploitations en gradins de peu d'étendue et sans continuité.

Comme dernière tentative, on traversa la mise argileuse qui, vers l'ouest, limite tous les étages ; mais on ne retrouva pas les veines minérales, et on ne put déterminer ni le sens ni l'étendue de leur rejet par la faille.

C'est donc dans les ouvrages des troisième, quatrième et cinquième plans que nous laissons l'exploitation de la Picadière, pendant les dernières années du XVIIIe siècle.

Mine du Colombert.

En même temps qu'on poursuivait les veines de la Picadière, on tentait seulement l'exploitation de leurs prolongements, vers le point de rencontre du ravin des *Combes* et du ravin de la *Picadière*.

Filon des Anciens. (Pl. II, *fig.* 1 et 3.)

La première galerie ouverte à l'est des *Combes*, sur un affleurement barytique et ferrugineux, rencontra de vieux travaux très-irréguliers, mais assez étendus, et sur la date desquels on n'a jamais rien su ; c'est toutefois dans cette mine qu'on observa des traces d'exploitation par le feu, ce qui fit appeler le filon *les anciens*. Gêné par les vieux travaux, on entreprit, à la jonction des deux ravins, le percement du Colombert, qui rencontra le filon à 50 ou 55 mètres de son entrée. Une fois sur le filon, on s'étendit sur 80 ou 90 mètres à l'est et 85 mètres à l'ouest ; mais on n'a trouvé quelque peu de minerai que dans la partie correspondante aux anciens travaux ; encore ce minerai était-il peu argentifère (250 grammes au quintal de plomb d'œuvre).

On avait abandonné ces ouvrages en 1791, au moment de la découverte du *Bosviel*, et après avoir toutefois reconnu encore d'anciens travaux, à l'ouest du ravin des *Combes*, et avoir superficiellement exploré l'un des affleurements des *Avesnes*. Ce dernier travail peu considérable n'avait pas découvert les Avesnes, qu'on n'attaqua sérieusement que dix ou quinze ans plus tard.

Filon des Avesnes.

Le filon du Bosviel découvert en novembre 1771 fut, à cette date, sondé sur deux points principaux, écartés de 60 mètres l'un de l'autre. On était là à 160 mètres environ au-dessus de la vallée du Luech, de sorte qu'on avait toutes facilités pour effectuer des percements sans foncement de puits ; mais le peu de minerai retiré de ces premières attaques avait découragé les exploitants qui, manquant d'ailleurs de bras, avaient abandonné ce filon vers 1794 ou 1795. Le minerai retiré avait cependant une teneur en argent comparable à celle de la Picadière et on n'était qu'aux affleurements.

Mine du Bosviel.

Recherches sur quelques points isolés des filons du Nord et du Sud : Villaret, Massufret.

Au-dessous du village du *Villaret*, où passent les grosses crêtes du filon du sud, une épaisse veine barytique s'en détache sur une longueur de 25 à 30 mètres. Entre elle et les crêtes stériles, les schistes présentaient de très-belles mouches de galène cristalline ; on entreprit une galerie sur l'une des veines qui sillonnaient cet amas. Le peu de richesse en argent, l'éloignement, la difficulté des transports firent abandonner ce travail en 1787. Il en a été absolument de même au *Massufret*, où se continuent les mêmes apparences : il y avait même là des fouilles anciennes assez profondes.

Filons du Clot.

Au Clot, encore sur les ramifications du grand filon du sud, à 1.500 ou 1.600 mètres à l'ouest de la Picadière, on fonça un petit puits qui rencontra un massif

stérile, ce qui fit abandonner, malgré la facilité qu'on aurait eue de faire un percement sans puits, à un niveau bien inférieur.

Soleyrols, Malfrezés, etc.

Les quelques fouilles tentées sur ces divers points du filon du nord n'ont pas eu plus de succès que les précédentes.

2. Deuxième période, 1800-1820.

Dans cette deuxième période, on continue d'abord l'exploitation de la mine de la *Picadière;* mais les difficultés résultant du mode d'exploitation adopté d'abord et poursuivi maintenant augmentent peu à peu; on finit par laisser noyer les travaux inférieurs de cette mine. L'exploitation du *Bosviel*, reprise un peu avant 1800, se soutient d'une manière assez régulière, grâce aux facilités pour l'écoulement, l'aérage et la sortie des minerais. Enfin on reprend les filons des *Anciens* et des *Avesnes* et on y installe des exploitations importantes.

Mine de la Picadière. (Pl. II, *fig.* 2.)

Le cinquième plan de la Picadière, commencé précédemment, est continué et relié au quatrième par plusieurs puits; on trace de même un sixième niveau et on en commence un septième. Mais le *grand percement* du quatrième plan partant du fond même du ravin de la Picadière, il n'y a plus moyen d'écouler naturellement les eaux, ni d'extraire, ni d'aérer commodément, à moins de rattacher le percement du *Colombert* et les plans inférieurs de la Picadière : or, on ignorait encore les relations découvertes depuis entre ces deux points; l'idée de la continuité des *veines* même sur un espace si peu étendu eût paru alors peut-être exagérée; d'ailleurs les ressources de la compagnie ne permettaient pas un travail aussi long. D'un autre côté, si l'on tient compte de la moins grande continuité des veines en profondeur, de l'éparpillement du minerai,

on comprendra la souffrance dans laquelle restèrent les travaux de la Picadière pendant cette période.

Aucune des veines reconnues par les travaux supérieurs ne paraît avoir présenté de massif d'une richesse convenable, au-dessous du cinquième plan; on n'a pu établir d'exploitation en gradins que sur certains points isolés. Ainsi les derniers puits foncés vers l'ouest, ceux de la *Mire* et du *Bloc*, n'ont découvert que quelques rognons épars. La faille argileuse qui limitait les plans supérieurs se trouve encore à l'ouest de ces derniers puits. On l'a traversée une ou deux fois sans retrouver au delà la moindre trace minérale. Vers l'est, il était *admis* que les veines s'appauvrissaient aussi.

Enfin deux traverses furent poussées de la Picadière à la rencontre du grand filon du sud : l'une dite *Traverse Moustache* au deuxième plan, près du *puits du Couchant*, et l'autre près du *puits de la Mire* au quatrième plan, mais sans plus de succès l'une que l'autre. Ces deux traverses ont-elles recoupé toutes les *branches du sud* qui affleurent sur une puissance si considérable près de la Picadière? Il n'est pas possible d'en répondre.

Mines du Bosviel. (Pl. II, *fig.* 1 et 2.)

La mine du *Bosviel* fut pour la compagnie, pendant cette période, ce que la Picadière avait été pendant la première. On y découvrit deux veines, mais qui paraissent s'être réunies fort souvent.

Tracé des divers étages.

Huit étages y ont été successivement ouverts.

Le premier étage a été formé par les attaques de 1791 et 1792 prolongées en direction vers le sud-ouest. Ce plan est à 154 mètres au-dessus des eaux du Luech.

Du premier plan on fonça des puits dans le filon même et on établit un second plan très-peu développé; il n'a que 60 à 65 mètres de longueur en direction.

Pour fixer le troisième plan, on fit, comme pour le premier, un percement à jour placé à 15 ou 20 mètres environ plus haut que le percement du Colombert. Une fois arrivé sur le filon, on le suivit assez loin au sud-ouest et on se relia, par plusieurs descenderies, avec les travaux supérieurs.

Un autre percement pareil fut ouvert à 40 ou 45 mètres en contre-bas du précédent : entre ces deux niveaux, on traça un quatrième plan à 20 ou 25 mètres au-dessous du troisième et en descendant de celui-ci par deux ou trois puits. Le cinquième étage se développa en prolongement du percement inférieur sur une longueur totale de 300 mètres environ; plus tard, il fut encore prolongé, sur le Bosviel, jusqu'au delà des Avesnes, comme nous le verrons plus bas.

Du cinquième plan on descendit par un très-grand nombre de puits; on établit ainsi le sixième plan de 250 mètres de longueur sur le filon et le septième qui ne fut jamais développé.

Pour faciliter l'exploitation des sixième et septième niveaux, on avait de bonne heure (vers 1807 ou 1808) commencé un dernier percement à 8 ou 10 mètres seulement au-dessus du Luech; mais ce ne fut qu'en 1818 qu'il fut assez avancé pour dénoyer complétement les travaux des sixième et septième plans.

Les ouvrages qu'on voit aujourd'hui sur ces huit plans étaient donc presque tous commencés pendant la période qui nous occupe. Déjà ils donnaient dans la partie *est*, surtout des quatre ou cinq premiers étages, une exploitation avantageuse : le minerai sorti était de la galène un peu blendeuse et pyriteuse dont la teneur en argent était de 300 à 350 grammes au quintal de plomb d'œuvre.

Quant à l'allure des veines minérales et à leur puissance, nous y reviendrons au sujet des travaux de la période suivante.

De 1800 à 1820, on reprend les attaques déjà commencées sur le filon des *Anciens* et on établit aussi plusieurs étages de travaux sur le filon des *Avesnes*, encore à peine fouillé superficiellement jusque-là.

Mine du Colombert et des Avesnes. (Pl. II, *fig.* 1, 2, 3.)

On peut se faire une idée assez nette de ce qu'étaient ces deux mines pendant cette période, en les rapportant à trois étages principaux, dont le plus bas, sur chacun des filons, était au niveau du percement du Colombert; le second à 20 mètres au-dessus et le troisième à 20 à 25 mètres plus haut que ce dernier.

Filon des Anciens.

Sur le filon des *Anciens*, les deux étages supérieurs ont dû être assez irréguliers; car les galeries au jour par lesquelles on les avait formés aboutissaient aux vieux travaux ou les traversaient. Les ouvrages sur ces deux niveaux n'ont, par suite, jamais été bien étendus; d'ailleurs le minerai trouvé là était le plus souvent, dit-on, d'assez mauvais minerai de bocard et de plus peu argentifère. Ce n'est guères qu'au-dessous du deuxième étage qu'on peut établir quelques gradins d'une exploitation un peu avantageuse.

Filon des Avesnes.

Sur le filon des *Avesnes*, on ouvrit sur l'affleurement deux galeries en direction, qui dessinèrent les deux étages supérieurs; pour former le troisième, on prolongea au sud *le percement du Colombert* à peu près vers 1810; et, de 1814 à 1820, on s'étendit sur le filon, à l'*est*, par la *galerie des Avesnes*, et à l'*ouest*, par la *galerie des trois Postes*.

Des chantiers déjà très-productifs avaient été entrepris, de 1800 à 1820, dans la partie est des massifs compris entre le premier et le deuxième plan. Du deuxième au troisième plan, on avait reconnu un minerai, moins riche en général, et les chantiers n'étaient pas très-

avancés encore, à la fin de cette période; nous reviendrons plus bas sur l'allure des veines métalliques.

Recherches nouvelles sur quelques points isolés.

Les recherches en dehors des filons déjà exploités sont peu nombreuses durant cette période et leurs résultats sont encore insignifiants. Ainsi, c'est, d'une part, en 1809, mais sans succès, qu'on reprend deux galeries en direction et à jour, commencées en 1794 sur la branche du filon du nord, voisine du *Chauffez*. D'autre part, on fonça un petit puits sur le filon *Lorrain*, on en retira quelques quintaux de minerai peu argentifère, mais la veine minérale disparut très-rapidement.

Filon Lorrain-Chauffez.

3. Troisième période, 1820-1837.

Pendant cette période, on continue l'exploitation des massifs que nous venons de voir tracer dans les diverses mines de Vialas. En présence des difficultés dont nous avons déjà parlé, on songe à des travaux de jonction des diverses mines. L'exploitation s'améliore au point de vue technique; c'est de la fin de cette période, que date l'introduction des chemins de fer pour le roulage intérieur et quelques autres modifications de détail. Mais les ressources financières étaient alors insuffisantes, et, comme nous l'avons déjà dit, la fin de cette période est marquée par un arrêt complet des travaux. On avait prévu ce fâcheux résultat dès 1820 ou 22, et pour parer à la diminution de la production dans les anciennes mines, on avait repris encore la plupart des attaques isolées dont nous avons déjà parlé; mais on ne pouvait espérer rien de fouilles si peu développées, et en les pratiquant, on ne faisait qu'augmenter inutilement les charges de l'entreprise.

Mine de la Picadière.

On revient de 1820 à 1828, dans les travaux de la Picadière, supérieurs au quatrième plan; mais c'est pour glaner au milieu des anciens ouvrages. C'est de là

que datent quelques chantiers d'un produit assez médiocre, comme les *Kasths* (1) *Amat* au premier plan; les *Kasths* de la *Guerre* et *Henry* au deuxième; les *Kasths Lili y* et *z* au troisième; enfin, au quatrième, les *Kasths*, *Pâris*, *Villard*; la galerie *Bertrand* et le puits de la *Poule*. Ce dernier ouvrage était pratiqué dans la partie *est* de la Picadière, sur une veine de très-riche minerai, qui paraissait inconnue des anciens.

Tous ces glanages ne pouvaient pas mener bien loin; on laissait les massifs, inférieurs au grand percement, submergés par les eaux et on ne pouvait y arriver que par le Colombert.

Mine du Bosviel.

On poursuit le Bosviel en direction vers le S.-O., à tous les étages à partir du troisième. Ainsi sur les troisième, quatrième et cinquième plans, on continue l'exploitation des *grands Kasths*, limités d'une part par le voisinage des affleurements, au premier plan, et d'autre part, par le cinquième niveau : à cette dernière hauteur, leur extrémité S.-O. est à 280 mètres environ du point de rencontre du filon par le percement du cinquième plan.

Au cinquième plan, on prolonge la galerie de direction jusques au delà de la rencontre avec les *Avesnes* et les *Anciens*. Entre le cinquième et le huitième plans, on allonge un peu les galeries et ouvrages du sixième et septième niveaux, pour sonder les massifs situés à l'aplomb des *grands Kasths*.

Le percement du huitième plan et la galerie d'allongement qui lui fait suite sur le Bosviel, prennent le nom de *galerie Chappelle;* on la prolonge sur une lon-

(1) *Kasths*, mot importé vraisemblablement d'Allemagne, mais improprement appliqué aux ouvrages en gradins renversés.

gueur totale de 5 à 600 mètres le long du filon, jusqu'au delà encore des Avesnes et des Anciens.

Enfin, au-dessous de la galerie Chapelle, on fonça les deux puits *Carette* et des *Poulies*.

Voyons ce qu'on a trouvé en minerai dans ces ouvrages, les plus considérables de ceux exécutés dans cette période.

Richesse en minerai. Allure des veines.

Les *grands Kasths*, le soutien de l'entreprise pendant assez longtemps, donnèrent de bon minerai de bocard, dans leur position *nord-est ;* mais au fur et à mesure de l'avancement au *sud-ouest*, le minerai devenait plus rare et plus disséminé : c'est vraisemblablement là la seule raison de l'arrêt de tous les plans supérieurs, à peu près sur la même verticale.

La galerie du cinquième plan, poursuivie au delà des *Avesnes*, ne paraît pas non plus avoir été riche en minerai, sur la dernière partie de son parcours.

Du cinquième au huitième plan, on ne trouve au *nord-est*, que les quelques chantiers épars des sixième et septième plans. On n'y a, en effet, rencontré que du minerai trop disséminé ou trop pauvre, pour qu'on pût en tenter l'exploitation réglée. Ainsi, quelques gradins épars et une exploitation, en général, peu avantageuse, voilà ce qu'a donné toute la partie du cinquième au huitième plans, à l'*est* du puits *Carette*. Il faut arriver à 30 ou 40 mètres à l'*ouest-sud-ouest* de ce puits pour retrouver un massif exploitable. C'est là qu'en 1830, on abattait les *kasths Philippe* et ceux du *Semble*, entre lesquels il y avait une interruption de minerai de 20 mètres. Ces deux ouvrages en gradins, ont donné beaucoup, et de bon minerai de bocard.

La galerie Chapelle n'a donné de minerai que par places. Enfin les puits *Carette* et des *Poulies* ont été foncés : le premier sur la branche du Bosviel la moins

riche ; le second, quelques mètres après la réunion des deux veines. Tous les deux ont donné de bon minerai sur leurs 15 mètres de profondeur ; on a dû en suspendre le foncement, à cause de l'abondance des eaux.

Des résultats qui précèdent, on peut conclure que l'allure des veines minérales est bien celle que nous avons cherché à figurer sur la Pl. II, *fig.* 1. Un fait, d'accord d'ailleurs avec cette allure du minerai, a, dit-on, été observé dans les travaux du Bosviel : c'est que près des affleurements, la région *nord-est* où les veines étaient séparées, a été la plus riche et la région *sud-ouest* où les veines étaient réunies, la plus pauvre. En profondeur, ce semblerait être le contraire : pourtant nous observerons que les recherches ne sont pas assez considérables dans la portion S.-O. de l'amont pendage entre le cinquième plan et les affleurements. Les seuls indices de pauvreté, observés, l'ont été au niveau supérieur des *grands Kasths*, où l'on s'est étendu en direction sur 50 mètres au S.-O. de la limite de cet ouvrage ; sur cette longueur, le filon était uniquement quartzeux et stérile : ce sont à peu près les résultats observés dans la portion S.-O. de la galerie du cinquième plan.

Mines du Colombert et des Avesnes.

De 1820 à 1837, on a beaucoup développé les travaux desservis par le percement du Colombert ; pour aller de là aux travaux anciens de la Picadière, on avait commencé des recherches sur de nouveaux filons : ceux de l'*Espérance* et du *Bois-de-Petit*. En même temps on essayait de relier aussi le Bosviel avec le Colombert ; c'était donc, comme on le voit, des travaux préparatoires pour l'aménagement général de la mine.

Filon des Avesnes, allure des veines

Le filon des Avesnes a été, pendant cette époque, exploité sur les trois étages tracés précédemment ; on en

avait même commencé un quatrième, par plusieurs puits foncés au sol de la *galerie des Avesnes* (Puits de la *Faille*, de la *Réunion*, etc.). Cette partie de l'exploitation était limitée par le percement du *Colombert* et par un *croiseur* placé à 250 mètres environ du percement, à l'est du puits de la *Faille*. A l'ouest du percement, il n'y avait que la galerie des *Trois-Postes* qui, n'ayant rien donné en minerai, fut abandonnée.

C'est en vue du dénoiement des puits de la *Faille*, de la *Réunion*, etc., qu'on poussa, à cette époque, la galerie du cinquième plan du Bosviel vers les Avesnes; mais ce travail était encore peu avancé en 1837.

On a jusqu'en 1826 ou 27 enlevé des quantités de minerai assez considérables des trois étages des Avesnes; les puits du troisième au quatrième plan en annonçaient encore. Cependant, à cette époque, les massifs les plus productifs, ceux au-dessus du deuxième plan, étaient à peu près épuisés; il n'y avait plus que quelques chantiers d'assez mauvais minerai de bocard du second au troisième plan : enfin, après avoir laissé noyer plusieurs fois les puits du troisième au quatrième niveau, à l'exception de celui de la *Réunion*, on ne retirait presque rien, au-dessous du troisième plan, le minerai du puits de la Réunion étant disséminé et très-pyriteux. C'est cependant de 1820 à 1828 que furent entamés les *kasths Mazoyer*, mais la puissance du filon était excessivement variable et composée de plusieurs crevasses sans continuité.

Filon des Anciens. (Pl. II, *fig.* 1 et 3.)

Le filon des Anciens était encore exploité en 1836 et en 1837 : ce n'est même qu'à cette époque qu'on était parvenu à relier complétement le percement du Colombert avec les vieux travaux du point O, par quelques puits allant aux deux percements supérieurs et surtout par les *puits* et *kasths Fidières*. Ces ouvrages, les plus productifs de cette partie des Anciens, étaient en exploitation à la fin de cette période.

Il est très-difficile d'apprécier la richesse en minerai de cette région des *Anciens;* les vieux travaux ont souvent gêné les nouveaux. Toutefois les étages supérieurs semblent s'être montrés assez pauvres; et même, dans les travaux du puits *Fidières*, on ne retirait que du minerai très-disséminé dans sa gangue et traitable seulement au bocard à eau.

Filons de l'Espérance et du Bois-de-Petit. (Pl. II, *fig.* 4 et 10.)

Ces nouveaux filons ont été suivis pour la première fois de 1825 à 1836.

Ainsi, en 1825 on commence la galerie de *l'Espérance* sur une veine recoupée par le percement du Colombert, à peu près parallèle aux *Avesnes* et aux veines de la Picadière. En 1836, on était, par ce travail, arrivé presque sous la région *est* des vieux travaux de la Picadière. Cette galerie de l'Espérance fut à peu près complétement stérile : il est vrai de dire qu'on nous paraît avoir marché bien souvent hors du filon. A l'*est* du percement du *Colombert* on a également suivi cette veine, mais sur peu de longueur, car on ne trouva pas plus de minerai qu'à l'*ouest*.

C'est en présence de la pauvreté de cette longue galerie de l'espérance que, par une traverse ouverte à 140 ou 150 mètres à l'ouest du percement, on rechercha si on n'avait pas négligé, en avançant, quelque veine sur la droite : c'est ainsi qu'on tomba sur le filon du *Bois-de-Petit* et dans une partie très-productive; on s'y éleva immédiatement en gradins par les *kasths de l'Espérance*, très-riches et très-étendus. Leur abatage, commencé en 1850, se continuait au N.-E. et au S.-O. de la traverse, vers 1836 et 1837. Nous dirons plus bas quelles étaient la nature, l'allure et l'abondance du minerai dans cette partie des travaux.

Recherches isolées pendant cette période.

Comme il arrivait chaque fois que la production baissait ou seulement tendait à baisser dans les mines de Vialas, de 1820 à 1828, on reprit encore une fois la plupart des attaques isolées du *Massufret*, *Villaret*, *la Grand'-Croix*, *Malfrézès*, *Clot*, *Chauffez*, etc.; mais comme précédemment, les recherches sont insignifiantes et se ressentent trop de l'hésitation des anciens explorateurs; on n'en peut rien conclure sur l'allure des filons. On était d'ailleurs encore effrayé par la difficulté des transports, de ces points jusqu'au bocard.

4. Quatrième période, 1838-1854.

État actuel des travaux. (Pl. I.)

Les travaux de cette dernière époque ont donc mis les mines de Vialas dans l'état où nous les voyons aujourd'hui. On ne distingue plus actuellement que trois étages de travaux, et toutes les mines, successivement réunies, ont été groupées par rapport à ces trois plans. Un quatrième a été à peine commencé et n'aboutit encore à aucun filon important.

Tracé des étages.

Le premier plan comprend :

1° Le percement du *Colombert*, qui lui sert d'entrée.

2° La galerie des *Anciens*, qui se développe sur le filon des anciens depuis le *Bois-de-Petit* jusqu'à un croiseur placé à 385 mètres à l'*est* du percement.

3° La galerie de *l'Espérance*, sur la veine de même nom, du percement jusqu'aux approches du grand filon du sud, au delà du *puits du Bloc*.

4° La galerie des Avesnes, depuis le percement jusqu'au croiseur à l'est du *puits de la Faille*. La galerie des trois postes, qui s'étend sur 120 mètres environ à l'ouest du percement. La galerie Sainte-Barbe. Le tout probablement sur un même filon à plusieurs branches.

Ce premier plan laisse donc au-dessus de lui :

1° Tous les anciens travaux du Colombert (Avesnes et Anciens).

2° Les kasths de l'Espérance sur le Bois-de-Petit.

3° Les kasths Sainte-Barbe, n° 1 et n° 2.

4° Les anciens travaux de la Picadière, jusques et y compris le sixième plan.

Enfin, par rapport au *Bosviel*, avec lequel il n'a pas été relié directement, il est à 15 ou 20 mètres au-dessous du quatrième plan de cette mine.

Le deuxième plan comprend :

1° Le percement du *cinquième plan du Bosviel*, qui lui sert d'entrée.

2° La galerie *Villemereux*, prolongée du *Bosviel*, le long des *Avesnes*, jusqu'à l'ouest du *puits de la Réunion*.

3° La galerie *Solberge*, poussée du *Bosviel*, le long des filons des *Anciens*, du *Bois-de-Petit*, de *Sainte-Barbe*, jusqu'à l'aplomb du *puits du Bloc*.

Ce second plan est à 25 mètres environ au-dessous du premier, avec lequel il communique par de nombreux puits, dont quelques-uns déjà (partie ouest des Avesnes) étaient ouverts précédemment.

Le troisième plan comprend :

1° Le percement *Chapelle* (huitième plan du Bosviel), qui sert d'entrée.

2° La galerie *Chapelle du Bosviel*.

3° La galerie de la *Grand'-Croix*, la *traverse Nadal* et diverses galeries sur *les Avesnes* et sur des accidents.

4° Un commencement de galerie sur *les Anciens*, à partir du *Bosviel*.

Le quatrième plan est à peine commencé sur les bords du *Luech*, au lieu dit *le Martinet*. S'il est un jour prolongé vers l'ouest, il viendra à 72 mètres environ au-dessous du troisième plan.

Voyons maintenant ce qu'on a retiré de l'exploitation

à ces divers étages, en donnant quelques détails sur les ouvrages exécutés dans les différents filons.

Filons des Avesnes et de Sainte-Barbe.

Premier plan. — On n'est pas revenu ou fort peu, durant la dernière période, dans les ouvrages situés à l'amont pendage du premier plan, au-dessus de la galerie des *Avesnes*. On n'a rien entrepris, non plus, au-dessus de la galerie des *Trois-Postes*.

L'exploitation s'est particulièrement concentrée sur le filon *Sainte-Barbe*, qui est le prolongement probable vers l'ouest de l'une des branches des Avesnes. On y est arrivé, au premier étage, par des traverses partant de la galerie de l'Espérance, et particulièrement par celle qui va du *puits Sainte-Barbe n°* 1 à la veine de l'Espérance. A partir de là, vers l'ouest, jusqu'au *puits du Bloc*, c'est-à-dire sur 400 mètres environ, la galerie Sainte-Barbe a presque partout donné de bon minerai et en quantité exploitable. A l'est du *puits Sainte-Barbe n°* 1, la galerie Sainte-Barbe a été prolongée de 30 à 35 mètres, à la rencontre de la *galerie des Trois-Postes*, dont elle reste distante de 80 mètres environ. En tous cas, on voit que ces galeries reliaient de nouveau la *Picadière* et le *Colombert*, car on se rappelle que le puits du Bloc était un des puits occidentaux de la première.

A 26 mètres au-dessus de la galerie Sainte-Barbe et, dessinant un niveau intermédiaire entre le premier plan et les affleurements, se trouve la galerie *Bertrand;* elle communique avec le premier plan par le *puits Rochette*, foncé à la rencontre du *Bois-de-Petit* et de *Sainte-Barbe;* elle s'étend de là, à l'ouest, sur 170 mètres environ, 20 sur le *Bois-de-Petit* et le reste sur *Sainte-Barbe*, jusqu'à une faille qui arrête et rejette ce dernier filon.

Au delà de la Faille, des recherches récentes ont retrouvé le prolongement ouest de *Sainte-Barbe*, rejeté

par cet accident, sous forme de plusieurs veines, dont trois principales. Sur ces veines, et au niveau à peu près de la galerie Bertrand, ont été ouvertes trois galeries : l'une, dite *Rétrograde*, la seconde, dite *Parallèle*, au sud de la première, et la troisième au nord des deux autres. Ces derniers ouvrages atteignent les anciens travaux de la *Picadière* et achèvent la découverte de *Sainte-Barbe*, entre cette ancienne mine et le *Bois-de-Petit*. Or, voici ce qu'on a pris et ce qui reste à prendre des massifs supérieurs au premier plan.

Massifs enlevés. Ce qui reste à prendre au-dessus du 1er plan.

Le massif compris entre les galeries *Sainte-Barbe* et *Bertrand*, le *Bois-de-Petit* et la *Faille*, a été enlevé en grande partie par les *kasths Sainte-Barbe n°* 1, de 1838 à 1844. Le minerai s'y est régulièrement bien soutenu et on regarde ces gradins comme ayant été très-productifs.

Au-dessus de la galerie *Bertrand* on a également établi des gradins : ce sont les *kasths Sainte-Barbe n°* 2, qui ont aussi beaucoup produit.

Il resterait cependant encore quelques parties à revoir ou à enlever dans toute cette étendue.

Au niveau de la galerie Sainte-Barbe, les anciens travaux de la Picadière se sont avancés, vers l'est, jusqu'aux environs de la Faille; mais les galeries *Rétrograde* et *Parallèle* ont montré que jusqu'à l'aplomb du *puits de l'Ane* et même du *puits du Hibou*, à partir de la faille vers l'ouest, les massifs sont presque intacts. Les *kasths Rétrogrades* et *Parallèles* y sont aujourd'hui en exploitation productive, et, tout en s'élevant vers les affleurements, au-dessus de la Faille et du premier plan, ils atteindront complétement les anciens chantiers de la Picadière. On pourra alors revoir ceux-ci un peu mieux qu'on ne l'a pu faire jusqu'ici, et y trouver peut-être à glaner avantageusement, comme on l'a fait aux

environs des puits de l'Ane et du Hibou, au premier plan. En tout cas, il paraît certain, dès maintenant, que de la Picadière on avait suivi vers l'est, une ou deux des veines récemment retrouvées au-dessus de la *faille Sainte-Barbe*. Si ce fait se vérifie ultérieurement, il prouverait l'infériorité de l'ancien mode d'exploitation. Il avait suffi aux anciens de reconnaître qu'en quelques points, et peut-être sur une veine en particulier, le minerai diminuait vers l'est, pour qu'ils arrêtassent la poursuite de leurs ouvrages de ce côté. Limités d'ailleurs, à l'ouest, par une faille semblable et parallèle à celle de Sainte-Barbe, ils ne voyaient de salut que dans la profondeur, où se présentaient de nouvelles difficultés qui les décidaient à l'abandon de la mine.

Par les travaux actuels, il est au contraire démontré que de la Picadière jusqu'à la faille Sainte-Barbe, plusieurs veines très-exploitables font la suite de celles d'abord exploitées. A la hauteur des puits de l'Ane et du Hibou, elles se rapprochent assez pour que tout l'intervalle qui les sépare soit pénétré de minerai, qui, quoique disséminé est encore exploitable. Peut-être n'a-t-on pas encore toutes les veines qui composent là le filon des Avesnes ou de Sainte-Barbe.

Au-dessous de la Faille, les kasths Sainte-Barbe nos 1 et 2 n'ont suivi qu'une veine, puissante et continue, il est vrai, mais il est vraisemblable qu'elle n'est pas la seule.

A l'*est* du *Bois-de-Petit*, la branche Sainte-Barbe n'a pas été étudiée bien loin, et il est encore incertain aujourd'hui si Sainte-Barbe est bien le prolongement du filon exploité vers l'est, par les galeries des *Trois-Postes* et des *Avesnes*. Quelques traverses, ouvertes en tenant compte de certains faits dont nous parlerons plus bas, éclairciront facilement ce point. Pour le moment, il

nous suffit d'avoir montré qu'entre la Picadière et le Bois-de-Petit, le filon Sainte-Barbe a été productif au-dessus du premier plan; les veines minérales se sont soutenues toujours exploitables, même dans le cas de la dissémination de la galène sur des épaisseurs considérables.

Deuxième plan. — Encore ici, nous distinguons les *Avesnes* et *Sainte-Barbe*, car, sur ce plan comme sur le précédent, la jonction n'est pas encore opérée.

A l'*est*, la galerie *Villemereux* suit les Avesnes sur une longueur totale de 350 mètres environ : 150 à 160 mètres du *Bosviel* au toit du *Croiseur*, qui avait anciennement arrêté les travaux du Colombert, et 200 mètres au delà du Croiseur, à l'ouest. Cette galerie n'arrive donc pas encore sous la verticale du percement du Colombert.

A l'ouest, on a tracé le second plan du filon Sainte-Barbe, en descendant par des puits jusqu'au prolongement de la *galerie Solberge*, qui venait le long des *Anciens*, du *Bois-de-Petit;* arrivée aux puits Sainte-Barbe nos 1 et 2, cette galerie prend le nom de *galerie du fond du puits Sainte-Barbe*, et elle se prolonge jusqu'au brouillage du *Bloc*, à l'ouest. Mais à l'est du puits Sainte-Barbe, elle n'a pas été poursuivie et elle est beaucoup plus distante de l'extrémité ouest de la galerie *Villemereux* que ne l'est au premier plan la galerie Sainte-Barbe de celle des Trois-Postes.

Voilà donc le filon (*Avesnes-Sainte-Barbe*) reconnu au deuxième plan, sur la distance du *Bosviel* à la *Picadière*, à l'exception de l'espace qui sépare la galerie *Villemereux* de la galerie du *Fond-de-Puits*, c'est-à-dire sur 200 mètres environ. Voyons ce qu'on a observé comme allure et richesse du filon dans toute cette étendue.

La galerie *Villemereux* paraît suivre la principale branche des Avesnes à partir de 20 ou 25 mètres *est* du

puits *Belliard*. De là jusqu'au croiseur, le filon a présenté du minerai sur une épaisseur de 1 mètre, et c'est sur cette longueur qu'ont été élevés, vers 1840, les gradins ou *kasths Villemereux ;* ils sont aujourd'hui parvenus jusqu'à 25 ou 30 mètres au-dessus du premier plan ; sur toute cette hauteur, la veine exploitée a presque toujours offert une puissance de 1 mètre en minerai, mélange de bocard et de massif. Depuis leur ouverture, ils ont occupé trente à trente cinq ouvriers en moyenne. On s'élève aujourd'hui vers les affleurements et l'on ne peut prévoir jusqu'où le minerai se conservera. Ce qu'on sait seulement, c'est qu'à l'ouest du croiseur les Anciens ont, au Colombert, exploité un minerai pareil jusqu'auprès des affleurements.

Les kasths Villemereux sont limités *à l'ouest* par le Croiseur ; *à l'est*, le filon s'incline comme le *Bosviel* et d'autant plus qu'on s'élève davantage ; de plus, il devient pourri, renferme de très-beaux rognons de minerai et, suivant la direction du *Bosviel*, coupe nettement le *filon des Anciens*. Jusqu'ici on n'a pas suivi, plus au nord-est, cette partie pourrie ; on a supposé que c'était un filon particulier, dit *Filon pourri, branché du Bosviel*, qui, suivant l'expression des mineurs, emporterait les kasths *Villemereux*, à l'est. Ce que nous avons observé à plusieurs reprises dans les travaux tend à nous faire admettre la première manière de voir. Ce serait d'ailleurs un point à éclaircir pour plus d'une raison.

Le Croiseur, dirigé comme le *Bosviel*, du S.-S.-O. au N.-N.-E., dérange sensiblement les Avesnes ; aussi, à l'ouest ou au mur du Croiseur, la galerie Villemereux présente quelques hésitations. Immédiatement à l'ouest du Croiseur, on a reconnu deux veines, l'une suivant à peu près la direction prise avant le Croiseur et l'autre s'infléchissant un peu vers le nord. La première paraissant peu importante, on a suivi la seconde, mais elle s'est présentée stérile et peu réglée jusqu'aux approches du puits *Nadal*, foncé vers le *troisième plan :* en ce point de la galerie Villemereux, la puissance était redevenue de 1 mètre en minerai ; de là on s'est donc avancé à l'ouest, jusqu'au delà du puits de la Réunion. Mais à 40 ou 50 mètres du puits Nadal, on a rencontré de nouveaux accidents, une faille encore parallèle au *Bosviel*, à l'ouest de laquelle on n'a jusqu'ici retrouvé que des crevasses sans grandes apparences minérales.

Jusqu'ici donc, dans la partie des *Avesnes* à l'ouest du Croiseur, on n'a exploité que les kasths Mazoyer, au-dessus du deuxième plan. Cette exploitation n'a jamais donné de résultats brillants, mais elle s'est pourtant, en général, assez bien soutenue : elle a été poussée de manière à communiquer avec les vieux travaux du Colombert.

Dans la région *ouest*, c'est-à-dire dans le filon Sainte-Barbe, le long de la galerie du Fond-du-Puits, le minerai s'est constamment présenté depuis les puits *Sainte-Barbe* n°s 1 *et* 2 jusqu'au puits de l'*Ane*. Du puits de l'*Ane* à celui du *Hibou*, le minerai se disséminé et paraît former un brouillage de veines multiples, comme nous en avons observés au-dessus du premier plan. Peut-être aussi est-ce le résultat du voisinage de la faille étudiée au premier plan : ce qui confirmerait cette opinion, c'est qu'au delà du puits du *Hibou*, à l'ouest, la galerie du Fond-du-Puits n'a pas découvert une grande continuité de minerai. D'après cela, il serait possible que sur les 200 premiers mètres environ de son parcours, la galerie du Fond-du-Puits fut sur le filon et qu'au delà, elle eut traversé la faille et se fut continuée sur quelque veine secondaire moins riche, comme il y en a plusieurs au premier plan.

Les puits Sainte-Barbe nos 1 et 2 et le puits de l'Ane sont foncés sur une veine minérale qui se soutient avec la puissance de 1 mètre à 1m,50 en bon minerai de bocard, du premier au deuxième plan. Le puits du Hibou, dans sa section du premier au deuxième étage, ne semble pas avoir été si productif.

En tous cas, aucun des massifs ainsi découpés n'a été attaqué en gradins, mais ils sont tout préparés.

Troisième plan. — Rien n'est encore préparé à ce niveau du côté de *Sainte-Barbe.* Nous n'avons à nous occuper que des Avesnes.

Au point où elle quitte le *Bosviel*, la galerie *Chapelle* nous paraît suivre une branche des *Avesnes* sur 60 mètres environ; là, rencontrant les *Anciens*, elle suit ce filon sur 40 mètres jusqu'à un accident, qui pourrait bien être un croiseur parallèle au Bosviel. C'est en s'avançant au *sud-ouest*, pendant 8 à 10 mètres, qu'on est de nouveau parvenu sur deux veines, dont la première a été considérée comme *filon des Anciens* et la seconde comme *filon des Avesnes.* Le filon des Anciens a été poursuivi sur 30 à 40 mètres au nord-ouest sans grand succès; on s'est arrêté au milieu d'un accident et faute d'air. La galerie Chapelle, au contraire, s'est continuée, sous le nom de galerie de la *Grand'-Croix*, le long de la veine prise pour les Avesnes : elle rencontre, à 60 ou 80 mètres du brouillage, un croiseur qui vraisemblablement est celui reconnu, dans les étages supérieurs, sous le nom de *Grand-Croiseur.* Cet accident la fait changer de direction et elle fait un grand coude vers le nord, jusqu'à ce que rencontrant une faille, elle la suit et s'égare complétement au *sud-ouest.* C'est dans ce prolongement qu'a été ouverte enfin la *Traverse-Nadal;* marchant au nord et au nord-ouest, elle est venue recouper des prolongements crevassés qu'on suppose, avec quelque raison, être ceux des

Avesnes, laissés et perdus par la galerie de la *Grand'-Croix.* On s'est déjà étendu à l'est et à l'ouest sur ces prolongements, mais sans résultats marqués jusqu'ici (1).

Pendant qu'on poussait la traverse, on descendait du deuxième au troisième plan par les puits *Nadal* nos 1 et 2. Le n° 1, couvert sur la branche découverte par la galerie Villemereux, a trouvé du minerai sur presque toute sa hauteur; mais au fond de ce puits, on suivit une veine pyriteuse détachée vers le nord et qui s'inclinait beaucoup; elle s'amincit peu à peu et finit par échapper. On fonça alors le n° 2 presque verticalement pour venir aboutir et donner de l'air à la traverse inférieure : ce second puits ne rencontra aucune veine minérale.

Voilà où en sont les travaux d'aménagement au troisième plan : il est donc impossible d'en rien conclure sur la richesse des *Avesnes* et des *Anciens* à ce niveau. Il est très-incertain qu'on ait réellement suivi le filon des kasths Villemereux par les divers tronçons de la galerie *Chapelle* ou de la Grand'Croix, ou par les ouvrages plus récents. Nous observerons, de plus, que les travaux *Nadal* ont été ouverts dans un quartier des Avesnes assez tourmenté d'accidents, comme nous le ferons voir plus bas. Il est à espérer que la galerie d'allongement qui de l'extrémité de la traverse Nadal s'avance vers le Bosviel retrouvera le filon mieux réglé; mais on serait peut-être arrivé plus vite au traçage du troisième plan et à la rectification de la galerie de la *Grand'Croix*, en prenant la traverse à l'est du *Grand-Croiseur*, un peu avant le coude au nord dont nous avons parlé.

(1) La traverse Nadal, poursuivie vers le nord, recoupera certainement le filon des Anciens.

Filon de l'Espérance. Traverse au Filon du Sud.

Ce filon n'est connu qu'au premier plan.

Nous avons vu que, dans la galerie précédente, on s'était déjà étendu sur ce filon, à l'est et à l'ouest du percement du Colombert.

La galerie *à l'est* n'a que 70 à 80 mètres et n'a donné que peu de minerai. La longue galerie de l'Espérance, *à l'ouest*, fait de nombreux crochets; elle n'a presque rien donné entre le percement et le puits de la *Poule*. Ce n'est guère qu'aux environs de ce puits qu'on a retiré quelques rognons de minerais assez pauvres. Elle était parvenue en ce point en mars 1840. Depuis on l'a poussée encore plus à l'ouest sans plus de succès; enfin à son extrémité, on a fait une grande traverse pour aller recouper le *filon du Sud;* la partie de ce grand filon atteinte par cet ouvrage a une épaisseur de 5 à 6 mètres; le remplissage, sur cette épaisseur, est d'une roche de filon très-crevassée d'où s'échappent des eaux très-ferrugineuses; mais les indices minéraux y étaient assez rares.

Quant au *filon de l'Espérance*, nous observerons qu'on l'a très-certainement perdu plusieurs fois dans la galerie de l'Espérance, où, dans la partie ouest surtout, il y a des traces d'accidents assez nombreux. Toutefois, sur quelques points où on le tenait certainement, il n'a jamais donné de bon minerai. Nous serions tenté de croire que ce filon fait le prolongement de celui exploité à la *Picadière* sous le nom de *filon du Grand-Percement;* la direction, la nature des gangues motivent, jusqu'à un certain point, ce rapprochement.

Au deuxième plan, on n'a pas, dit-on, retrouvé le filon de l'Espérance, malgré plusieurs traverses poussées de la *galerie du Fond-du-Puits* vers le nord. Ce fait joint à la grande puissance de *Sainte-Barbe* au deuxième plan a fait supposer une réunion de *Sainte-Barbe* avec l'*Espérance* entre les deux étages; mais cela ne nous paraît pas suffisamment établi. S'il y a rapprochement entre ces deux filons, ce paraît être suivant l'horizontale et non suivant la verticale; ainsi, au premier plan, *Sainte-Barbe* est, dans la région du *Bois-de-Petit*, éloigné de 38 mètres environ de l'Espérance, tandis que *vers l'ouest* cette distance diminue et se réduit à 10 ou 15 mètres sous les anciens travaux de la *Picadière.*

Filon du Bois-de-Petit.

Ce filon a été exploité au-dessus du premier plan, mais à peine exploré au second.

Nous avons dit comment ce filon avait été découvert par une petite traverse, sur la droite ou au nord de la galerie de l'Espérance : on s'y éleva immédiatement en *kasths*, vers 1829 et 30. Cette exploitation fut successivement exhaussée, du premier plan jusqu'auprès des affleurements, où elle fut arrêtée par une faille qu'on n'a pas suffisamment étudiée. En distance horizontale, les *kasths de l'Espérance*, dont l'abatage ne cessa qu'en 1846 ou 47, s'étendent de 8 à 10 mètres à l'est du puits de l'Espérance jusqu'au delà du puits *Rochette*, où ils se relient avec ceux de Sainte-Barbe. On a trouvé là, sur une hauteur de 80 mètres, un très-bon minerai; la puissance moyenne a été de 50 à 80 centimètres, dont le tiers en minerai massif ou de *criblerie*. Cette puissance s'amoindrissait cependant dans les parties hautes.

Dans la région N.-E., il paraît que le minerai s'interrompt aussi; les recherches sont toutefois insignifiantes de ce côté. Quant à la faille qui semble *emporter les kasths de l'Espérance* dans leur partie supérieure, on a sondé le mur de cet accident, mais on n'est pas passé au toit. D'ailleurs, on n'était plus là bien loin des affleurements, car, du jour, on entendait alors le bruit du travail intérieur.

Les kasths de l'Espérance se sont reliés et comme fondus avec ceux de Sainte-Barbe, nos 1 et 2; on ne les a donc pas continuées sur le *Bois-de-Petit*, au S.-O., et cependant, le filon se prolonge vers cette région, semblant, là, tout à fait parallèle et analogue au *Bosviel*. Une seule galerie, inférieure aux *kasths de l'Espérance*, a été poursuivie, au premier plan, sans succès, dit-on, à 60 mètres au S.-O. du puits *Rochette*.

Au deuxième plan, la galerie *Solberge* arrivée au *Bois-de-Petit*, l'a suivi sur 140 mètres environ, avec de nombreux écarts, surtout auprès de la rencontre du *Bois-de-Petit* avec l'*Espérance* et *Sainte-Barbe*. Cette galerie du deuxième plan passe au fond des puits de l'*Espérance* et aboutit au puits Sainte-Barbe, n° 1. Elle a produit fort peu sur toute la première partie de son parcours; elle a donné un peu plus sur une quinzaine de mètres, à la rencontre de l'Espérance.

Tel est l'état actuel du *Bois-de-Petit*; trouvé, par hasard, pendant la pourchasse de la galerie de l'Espérance, on l'a très-longtemps supposé identique avec le filon de l'Espérance, comme l'indique le nom donné à ses gradins. C'est peut-être à cela qu'il faut partiellement attribuer l'absence d'explorations un peu plus complètes sur le gîte.

Filon des Anciens.

Premier plan.—En 1839 et 40, on travaillait encore au prolongement *est* de la galerie des *Anciens*, qui vers l'*ouest*, fut arrêtée au *Bois de-Petit*. Depuis cette époque, on n'a plus travaillé de ce côté, au-dessus du premier plan.

Sur la première partie de son parcours, à partir du *Bois-de-Petit*, la galerie des Anciens n'a pas donné de minerai utilement exploitable; on n'a commencé à en trouver qu'à l'aplomb des anciens travaux, à peu près sous la verticale des puits *Fidières* et *Saint-Charles*. On

poursuivit toujours cette galerie vers l'est, car on voulait par là rejoindre le *Bosviel*: or, à 200 mètres du percement du *Colombert*, la galerie des *Anciens* rencontra une faille N.-N.-E., autour de laquelle elle fait un crochet pour la traverser. Pendant 70 ou 80 mètres, elle suivit le filon avec des apparences assez variables; là, elle fut de nouveau arrêtée par un véritable croiseur, parallèle au *Bosviel* et à peu près sous le point O.

On essaya, en 1839 et 1840, de passer cet accident; on le suivit au nord et au sud; on y trouva quelques rognons de minerai qui ne se suivaient pas: on en resta là et on revint sur ses pas, à l'ouest, commencer le foncement du puits des *Anciens*, vers le second plan.

Ainsi, au premier plan, la galerie des Anciens a été laissée en cet état pendant toute cette période; mais nous verrons tout à l'heure que dans la partie *est* du croiseur, on s'est, à partir du Bosviel, élevé, par les *kasths Solberge* du deuxième plan jusqu'au-dessus du premier.

Quant aux massifs supérieurs à la galerie des Anciens, nous dirons qu'il résulte des documents que nous avons sur l'ancienne exploitation, qu'on a dû y laisser beaucoup à glaner.

Deuxième plan. — Du puits *Belliard* jusqu'à celui des *Anciens*, la galerie *Solberge* a reconnu une veine continue et exploitable sur laquelle se sont élevés les *kasths Solberge*. Cette exploitation a duré de 1841 ou 1842 jusqu'aujourd'hui. Elle a dépassé de beaucoup le premier plan entre le *Bosviel* et le croiseur. Sur cette distance et pendant les vingt premiers mètres, en hauteur, la puissance était assez régulièrement de 1m,50, dont un cinquième en minerai de *Criblerie*, et le reste en minerai de bocard. A 20 mètres environ au-dessus du deuxième plan, le minerai s'appauvrit dans la partie intermédiaire de *Belliard* aux *Anciens*. La puissance se soutint assez

bien d'abord sur une longeur de 18 à 20 mètres auprès du puits *Belliard* et de 10 à 12 mètres du puits des *Anciens*. Peu à peu, en s'élevant, ces massifs s'appauvrirent aussi, et en été 1854, les chantiers d'abatage n'occupaient plus qu'un petit nombre d'ouvriers.

Les kasths Solberge n'ont cependant pas atteint, vers l'ouest, la partie brouillée comprise entre les deux accidents reconnus au premier plan, à l'est et à l'ouest du puits des *Anciens*. Ils ne se sont, par conséquent, pas mis en communication avec les anciens travaux.

En traversant ces accidents, dont on retrouve les prolongements au deuxième plan, la galerie *Solberge* a elle-même fait plusieurs détours en deçà et au delà du puits des Anciens.

Ce dernier ouvrage, composé de deux tronçons, a été, dans sa dernière partie, ouvert sur un barrage stérile. Le premier tronçon descendant du premier plan, dans le filon même, a donné de bonnes traces de minerai sur la hauteur de 15 mètres; à cette profondeur, gêné pour l'extraction, on fit une galerie de fond et en direction sur quelques mètres, pour foncer le second tronçon du puits; mais, sur toute sa hauteur, cette portion fut stérile.

A l'ouest du puits des *Anciens*, la galerie *Solberge* va, en se poursuivant vers le *Bois-de-Petit*, passer au fond des puits *Neptune* et *Dolomieu*, foncés du premier au second plan. Dans cette région, à l'ouest des accidents dont il a été question, le filon devient presque vertical : en général aussi, la galerie et les puits n'ont plus retrouvé le même minerai que dans la région *est;* les veines sont moins continues et la galène beaucoup plus disséminée.

Du puits des *Anciens* jusqu'au puits *Dolomieu*, tout le massif dont nous venons de voir l'exploration, du premier au deuxième plan, est vierge sur presque toute son étendue.

Au puits *Dolomieu* seulement, la portion du massif qui s'appuie là contre le *Bois-de-Petit* a été exploitée, du premier au deuxième plan, par les *kasths Dolomieu*. Le puits *Dolomieu* avait d'ailleurs suivi un filon fort variable, étroit et sans salebandes ; mais arrivé près du deuxième plan, il avait découvert une veine riche en minerai massif; c'est sur cette veine que s'élevèrent les kasths Dolomieu.

A sa rencontre avec le *Bois-de-Petit*, la galerie *Solberge* a continué en direction pendant quelques mètres, au milieu du brouillage de l'intersection des deux filons, mais pas assez pour retrouver les Anciens vers l'ouest.

Troisième plan. — Le filon des *Anciens* est à peu près complétement inconnu au troisième plan. Nous avons vu plus haut la galerie *Chapelle*, en quittant le *Bosviel*, suivre un filon barytique assez semblable aux Anciens, tomber dans un brouillage et suivre encore au N.-O. un filon considéré comme les *Anciens;* mais cette rencontre de filons ne nous semble pas suffisamment étudiée, et en tous cas on s'est arrêtée trop tôt sur les Anciens pour qu'on puisse rien dire de son allure à cette profondeur. Nous dirons seulement que près du *Bosviel* on s'est élevé en gradins ; cette exploitation, dite les *kasths Chapelle*, peu développée d'ailleurs, n'a produit que par intermittences du minerai assez ordinaire de bocard ; mais, encore une fois, il n'est pas possible de dire si elle a été ouverte sur les *Anciens* ou sur les *Avesnes*.

Filon du Bosviel.

Nous avons peu de chose à ajouter à ce que nous avons dit plus haut de ce filon. Ses plans les plus étendus sont les cinquième et huitième qui correspondent et servent d'entrée aux deuxième et troisième étages actuels. Nous rappellerons que vers 1839 et 1840 on abandonna, pour n'y plus revenir depuis, *les grands kasths*, *les kasths du quatrième plan*, et enfin les *kasths Philippe* et du *Semble*, au-dessous du cinquième. Les prolongements des ga-

leries *Chapelle* et *Villemeureux*, le long du Bosviel, au S.-O. du croisement des *Anciens* et des Avesnes, n'avaient pas découvert d'autres massifs que ceux exploités par les kasths Philippe et du Semble.

Quelques recherches isolées.

Quatrième plan. — Le quatrième plan ne consiste encore qu'en une galerie dite du Martinet, commencée en 1839 ou 1840, abandonnée peu après, mais qui doit être reprise bientôt. A cette époque, on avait poussé ce travail jusqu'à la première branche du grand *filon du nord*, formée d'un banc de quartz sauvage de 4 mètres d'épaisseur et d'un banc argileux de la même puissance; la galerie continuait ensuite dans des schistes, sans apparences minérales.

Filon du Nord.

La galerie *Chapelle* avait, avant de rencontrer le filon du *Bosviel*, coupé aussi une des branches du filon du Nord. On se décida à la poursuivre, à l'intérieur, par une galerie à l'est du percement Chapelle, tandis qu'on l'attaquait, à jour auprès du *Chauffez*. Ces ouvrages furent abandonnés avant leur jonction, malgré l'importance qu'ils avaient au point de vue du tracé du quatrième plan, et quoique, dit-on, on eût retiré du minerai de bocard passable sur une certaine partie de leur longueur.

Filon des Combes.

En 1837 et 1838, le percement du Colombert, arrêté aux Avesnes, fut poursuivi au sud, pour recouper le filon des *Combes*, mais sans succès.

Nécessité d'un résumé sur l'allure des gîtes et sur leurs divers accidents.

Dans ce qui précède, nous avons décrit les travaux ouverts sur les filons de Vialas : il nous paraît utile, au point de vue de l'exploitation de ces mines, de grouper les résultats obtenus jusqu'ici, de fixer, autant qu'ils le permettent, l'allure des gîtes et des veines minérales, la position des divers accidents qui les dérangent. Nous essayerons ce travail avant de donner les principaux détails de l'exploitatation proprement dite et de la préparation mécanique.

(*La suite à la prochaine livraison.*)

NOTE

SUR LE TRAITEMENT MÉTALLURGIQUE DES MINERAIS DE CUIVRE GRIS DANS L'USINE STEPHANHÜTTE (HAUTE HONGRIE).

Par M. JULIUS JUHOS.

Aucune contrée de la monarchie autrichienne ne peut fournir aux mineurs de plus beaux sujets d'études que le district de Schmœlnitz, comprenant les cercles d'Abaujvar, de Zips et de Gomœr, dans la partie septentrionale de la Hongrie.

La principale chaîne de montagnes, composée de schistes ferrugineux et de grauwacke schisteuse, renferme des filons nombreux et puissants de quartz et de fer carbonaté, contenant des métaux d'une grande valeur, le mercure, le cuivre, le cobalt, le nickel et l'argent.

Ces métaux sont combinés avec le soufre et l'antimoine, et se présentent en mélange plus ou moins intime. Leur traitement est toujours très-difficile, et mérite d'attirer l'attention sérieuse des métallurgistes.

L'extraction du cuivre et de l'argent est une des plus anciennes industries du pays, et forme depuis plusieurs siècles une des sources principales d'activité et de richesse de la contrée.

Les usines, dirigées d'abord par des exploitants inexpérimentés, ensuite, et pendant longtemps, par les ingénieurs du gouvernement, sont maintenant la pro-

propriété d'une compagnie puissante, formée sous le nom d'*association des mineurs de la haute Hongrie.*

Cette société est présidée par M. le comte Georges Andrassy, qui est parvenu à concilier les intérêts des nombreux propriétaires des mines, et doit être considéré comme son véritable fondateur.

Les opérations les plus importantes sont relatives à l'extraction du mercure et au traitement des cuivres gris argentifères par l'amalgamation des cuivres noirs. La science métallurgique est redevable des procédés employés à MM. Thonhauser, Charles Kovarts, et à M. le baron Antoine Leithner (1).

L'exposé de la méthode suivie à l'usine de Stefanshütte pourra être de quelque intérêt.

Division des minerais.

Les minerais reçus à l'usine proviennent d'un grand nombre de mines différentes; ils sont divisés en deux catégories: en minerais contenant du mercure et en minerais ne contenant pas de mercure; chacune d'elles est subdivisée en minerais argentifères et non argentifères: on obtient ainsi quatre classes qui doivent être traitées séparément.

Minerais mercuriels. — Les deux classes de minerais contenant du mercure sont grillées dans des cases demi-closes (Roststadel). Les morceaux sont disposés à la partie inférieure et sont recouverts par une couche assez épaisse de menus.

Le feu est conduit assez lentement, et la couche supérieure reste assez froide pour que tout le mercure s'y condense. Quand le grillage est terminé on sépare la

(1) Le procédé d'amalgamation du cuivre noir a été imaginé par M. Born.

couche supérieure et on la traite sur des cribles à secousses pour séparer le mercure métallique; le résidu passe avec les minerais en morceaux dans un nouveau tas de grillage, pour lequel la couche supérieure est fermée avec des menus nouveaux.

Les minerais grillés imparfaitement, mais entièrement débarrassés du mercure, sont envoyés aux opérations de la fonte pour cuivre seul, ou à celle de la fonte pour cuivre et argent.

Le traitement pour mercure est extrêmement simple et très-économique; il rend 90 p. 100 du métal indiqué par l'essai.

Après l'extraction du mercure, on n'a plus à considérer que deux classes de minerais: ceux qui contiennent de l'argent et ceux qui n'en renferment pas.

Minerais argentifères.

Le traitement des minerais argentifères comprend les opérations suivantes:

1° Fonte crue, donnant la matte nommée Rohlech;

2° Grillage de la masse à huit ou dix feux;

3° Fonte pour cuivre noir argentifère, nommée durchstecharbeit;

4° Amalgamation du cuivre noir.

Fonte crue. — L'opération est faite dans un demi-haut-fourneau: le lit de fusion est composé de 3/4 minerais grillés et 1/4 minerais crus; on ajoute 12 à 14 p. 100 de pyrite de fer, 12 à 14 p. 100 de quartz, et 10 à 12 p. 100 des scories de la fonte pour cuivre noir. Les minerais contiennent de 9 à 10 p. 100 de cuivre et de 1 1/4 à 1 1/2 loth d'argent au centner, soit de 39 à 46 grammes pour 100 kilogrammes.

On obtient trois produits:

1° Des mattes, contenant de 22 à 24 p. 100 de cuivre et de 63 à 70 grammes d'argent par quintal métrique;

2° Du speiss (Rohspeiss), contenant de 24 à 28 p. 100 de cuivre et de 93 à 134 grammes d'argent aux 100 kilogrammes;

3° Des scories pauvres et qui peuvent être jetées.

L'essai des produits de la fonte crue indique ordinairement une quantité de cuivre plus forte que celle accusée par l'essai des minerais; l'augmentation est de 8 à 9 p. 100; pour l'argent, au contraire, on constate une perte de 2 à 3 p. 100.

Le speiss est mis en réserve pour un traitement spécial; les mattes sont grillées et passent à la fonte pour cuivre noir.

Le lit de fusion est composé des mattes crues grillées et des secondes mattes d'une opération précédente, passées à quatre ou cinq feux. On ajoute de 12 à 18 p. 100 de quartz.

Les produits sont:

1° Du cuivre noir, contenant 80 p. 100 environ du cuivre renfermé dans les matières fondues, tenant de 82 à 86 p. 100 de cuivre, et de 249 à 281 grammes d'argent par quintal métrique;

2° Des secondes mattes (oberlech), qui contiennent de 60 à 65 p. 100 de cuivre et de 78 à 93,4 grammes d'argent par 100 kilogrammes;

3° Des scories, qui renferment assez souvent des grenailles de mattes, et sont, dans ce cas, passées à la fonte crue.

Les secondes mattes sont grillées et fondues dans une opération suivante; le cuivre noir passe à l'amalgamation.

Les essais des produits de la fonte pour cuivre noir indiquent ordinairement une perte de 3 à 5 p. 100 sur le cuivre, et une faible augmentation, quelquefois une faible perte sur l'argent.

Amalgamation du cuivre noir. — L'amalgamation du cuivre noir comprend plusieurs opérations:

a, chauffage au rouge sombre dans un fourneau à reverbère et pulvérisation au bocard;

b, réduction en farine sous des meules;

c, grillage au four à réverbère de la farine mélangée avec 8 à 9 p. 100 de sel marin;

d, amalgamation proprement dite dans des tonnes tournantes; on fait un mélange de 5 quintaux métriques de matière grillée, 2 quintaux métriques de mercure métallique et $0^{qm},50$ de balles de cuivre; on emploie de l'eau chaude dans la proportion de 15 à 18 p. 100;

e, séparation de l'amalgame par la presse, distillation du mercure, fonte de l'argent en lingots.

Ces opérations occasionnent une perte de 2 à 3 p. 100 de l'argent et une perte à peu près pareille sur le cuivre.

Les résidus de l'amalgamation pèsent 25 à 30 p. 100 de plus que le cuivre noir mis en opération; ils contiennent 60 à 64 p. 100 de cuivre et de 7 à 9 grammes d'argent aux 100 kilogrammes.

Une partie de ces résidus, un tiers environ de la production, est fondue avec addition de 60 à 80 p. 100 de pyrite de fer; par cette opération on concentre le cuivre dans des mattes tenant de 30 à 40 p. 100 de métal; elles sont grillées à quatre ou cinq feux et passées, en même temps que les résidus non transformées,

dans la fonte pour cuivre noir du traitement des minerais non argentifères.

Minerais non argentifères.

Les minerais ne contenant pas d'argent sont d'abord passés à une fonte crue; les mattes qui en proviennent sont grillées à huit ou dix feux et sont fondues pour cuivre noir dans un haut-fourneau.

Le lit de fusion est composé comme suit :

100 p. résidus crus de l'amalgamation;
60 à 70 p. mattes grillées;
10 à 12 p. 100 de quartz.

Les produits de la fonte sont :

1° Du cuivre noir, tenant 85 à 88 p. 100 de cuivre pur et renfermant 75 à 80 p. 100 du métal contenu dans le lit de fusion;

2° Des mattes (oberlech) dont la teneur en cuivre varie de 70 à 75 p. 100; elles sont grillées et repassées dans la fonte pour cuivre noir;

3° Des scories, qui sont utilisées dans la fonte crue.

Le cuivre noir est affiné au réverbère et donne du cuivre rosette, livré au commerce, et des crasses.

Les crasses ou scories d'affinage sont divisées en deux classes : les crasses pauvres et les crasses riches.

Les crasses pauvres sont passées en même temps que les minerais non argentifères et avec addition de pyrite de fer dans la fonte pour matte. Les crasses riches sont fondues en même temps que les mattes grillées dans la fonte pour cuivre noir.

Traitement des speiss.

Le traitement des minerais argentifères produit annuellement 1.200 quintaux métriques de speiss antimonial, renfermant moins de 300 q. m. de cuivre et 100 kilogrammes d'argent. On a proposé deux méthodes distinctes pour extraire les deux métaux.

Première méthode. — Le speiss mélangé, avec 50 p. 100 environ de pyrite de fer, est grillé en tas, puis fondu au demi-haut-fourneau. L'opération donne des mattes tenant de 48 à 50 p. 100 de cuivre et de 434 à 465 grammes d'argent aux 100 kilogrammes. La perte est évaluée à 6 p. 100 du cuivre et 9 p. 100 de l'argent.

Les mattes sont amalgamées par la même méthode qui est employée pour les cuivres noirs; on en retire l'argent, avec une perte de 10 p. 100. Les résidus de l'amalgamation sont fondus de nouveau par matte; les mattes sont grillées et fondues pour cuivre noir. Ce produit est soumis à deux affinages successifs au réverbère, avant de donner du cuivre rosette.

Les crasses et scories du premier affinage sont trop chargées d'antimoine pour pouvoir être utilisées : celles du second affinage sont traitées comme celles de l'affinage du cuivre noir.

Seconde méthode. — Le speiss est pulvérisé au bocard, puis grillé au réverbère; on termine par un coup de feu avec addition de charbon de bois, dans le but de chasser une plus grande quantité d'antimoine.

Il est ensuite mélangé avec une forte proportion de pyrites, de 70 à 80 p. 100, et fondu par matte.

La matte est grillée à dix ou douze feux et fondue pour cuivre noir.

On obtient deux produits analogues : du speiss plus riche et du cuivre noir très-impur; tous les deux sont passés séparément à l'amalgamation. Cette seconde méthode est encore à l'état d'essai, et on ne peut pas affirmer qu'elle soit plus avantageuse que la première.

Un procédé différent a été proposé par M. l'inspec-

teur des usines impériales Röszner ; il consiste à fondre le speiss pulvérisé avec de la potasse, et à traiter la matière fondue par l'eau. La plus grande partie de l'antimoine est en dissolution, les résidus sont très-faciles à traiter pour cuivre et pour argent.

Ce procédé n'a pas encore été appliqué en grand, mais doit prochainement être mis en expérience.

RAPPORTS OFFICIELS

ADRESSÉS AU GOUVERNEMENT ANGLAIS PAR LES INSPECTEURS DES HOUILLÈRES.

(Extrait par M. HERBET, consul général de France à Londres.)

En vertu d'une loi votée par le parlement anglais en 1850 (1), les divers bassins houillers de la Grande-Bretagne ont été partagés en six arrondissements, qui ont été classés ainsi qu'il suit d'après leur position géographique ;

1° Écosse ;

2° Comtés de Northumberland, de Durham et de Cumberland ;

3° Comtés d'York, de Derby de Warwick, de Leicester et de Nottingham ;

4° Staffordshire, Shropshire et Worcestershire ;

5° Lancashire ; Cheshire et nord du pays de Galles ;

6° Sud du pays de Galles et comtés de Monmouth, Gloucester et Somerset.

Chacun de ces districts est placé sous la surveillance d'inspecteurs des mines du gouvernement, chargés de transmettre périodiquement au ministre de l'intérieur des rapports détaillés sur les accidents survenus dans les mines de houille. Ils ont également pour mission de tenir l'administration au courant de tous les progrès obtenus dans l'aérage, l'assainisse-

(1) Voyez les *Annales des mines*, partie administrative, 5e série, tome III, page 103 et suivantes.

ment des mines en général, et de toutes les améliorations apportées à la condition physique et morale des travailleurs, et c'est à ce point de vue, surtout, que leurs renseignements présentent un incontestable intérêt.

Les derniers rapports qu'ils ont adressés au secrétaire d'État de l'intérieur, et dont communication vient d'être faite au parlement, méritent surtout de fixer l'attention.

On citera entre autres la partie ayant trait à la ventilation des mines, et particulièrement le compte rendu d'une série d'expériences entreprises dans plusieurs établissements, et destinées à établir la supériorité encore contestée des jets de vapeur (*steam jet*), comme moyens d'aérage, sur les autres procédés.

Les règlements en usage dans les mines les plus menacées d'explosion de feu grisou, ainsi que les projets de règlements élaborés par les inspecteurs eux-mêmes, doivent aussi être l'objet d'une mention particulière.

En ce qui concerne les accidents arrivés dans les houillères, le tableau suivant en donne le chiffre officiel à diverses époques pour les différents districts. Il est à regretter que, faute d'indications suffisantes, il n'ait point été possible de dresser un relevé plus exact et plus complet.

PÉRIODE pendant laquelle les accidents ont été constatés.	DÉSIGNATION DES DISTRICTS.	NOMBRE DES MORTS ACCIDENTELLES				
		Survenues dans le puits de la mine par suite de rupture de câble, etc.	Occasionnées par les explosions.	Occasionnées par les éboulements, etc.	Attribuées à d'autres causes.	Totaux.
Année finissant le 30 juin 1852.	Yorkshire, Derbyshire, Nottinghamshire Leycestershire et Warwickshire.	18	68	35	19	140
2e semestre 1852.	Durham, Northumberland et Cumberland.	11	5	26	16	58
	Lancashire, Cheshire et North-Wales.	24	14	28	9	75
	Écosse.	15	2	16	9	42
	Staffordshire, Shropshire et Worcestershire.	18	13	70	10	111
	South-Wales, Monmouthshire, Gloucester, Somersetshire. . .	16	13	30	11	70
	Total.	84	47	170	55	356
1er semestre 1853.	Durham, Northumberland et Cumberland.	12	7	28	31	78
	Lancashire, Cheshire et North-Wales.	17	71	38	10	136
	Écosse.	12	5	12	2	31
	Staffordshire, Shropshire et Worcestershire.	28	21	61	5	115
	South-Wales, Monmouthshire Gloucester et Somersetshire. .	13	9	34	13	69
	Total.	82	113	173	61	429
2e semestre 1853.	Durham, Northumberland et Cumberland.	17	12	30	13	72
	Lancashire, Cheshire et North-Wales.	21	28	33	19	101
	Ecosse.	13	10	13	14	50
	South-Wales, Monmouthshire, Gloucester et Somersetshire. .	26	17	29	11	83
	Total.	77	67	105	57	306

L'activité du commerce des charbons en 1853 a dû contribuer dans une certaine mesure à l'augmentation du nombre des accidents pendant cette période.

L'inspecteur du district comprenant le Lancashire, le Cheshire et la partie nord du pays de Galles, qui avait été chargé avec un de ses collègues de visiter les principaux bassins houillers de la Belgique, de l'Allemagne et de la France, a établi entre le premier de ces pays et l'Angleterre des rapprochements assez

curieux sous le rapport du nombre des accidents. Voilà le résumé de cette statistique.

Pendant les années 1851, 1852 et 1853, le chiffre moyen annuel des morts accidentelles s'est élevé à 215 2/3 dans Lancashire, le Cheshire et le nord du pays de Galles. En prenant pour base de comparaison le nombre de travailleurs employés en 1852, c'est une proportion de 5 55/100 pour mille.

Les charbonnages de la Belgique, qui présentent des difficultés d'exploitation non moins grandes que ceux du district anglais, n'ont fourni cependant, de 1845 à 1849, qu'une moyenne de 3 14/100, en évaluant le nombre des mineurs de ce pays à 46,000; en 1851 et 1852 la proportion, quoique plus élevée, n'a pas dépassé 4 5/100 par mille. Deux faits peuvent concourir à ce résultat : l'infériorité relative à la production par ouvrier en Belgique, et le nombre comparativement moins considérable des travailleurs employés à l'intérieur de la mine. Mais, d'une autre côté, l'usage des machines s'est substitué dans une bien plus forte mesure en Angleterre qu'en Belgique au travail manuel. Si l'on recherchait maintenant la quantité de houille extraite dans les deux pays par rapport à chaque individu tué, on trouverait que cette quantité est sensiblement supérieure dans le district anglais; ainsi elle était dans le Lancashire, le Cheshire et le nord du pays de Galles, de 46,010 tonnes, tandis qu'en Belgique elle n'excédait pas 30.000 tonnes; pour toute la Grande-Bretagne elle est évaluée à 54,822. Il n'est point nécessaire de faire observer que ce dernier calcul est le résultat d'approximations, et que, par conséquent, on pourrait jusqu'à un certain point en contester la valeur. Mais il repose sur les évaluations d'un homme compétent, M. G. Dickinson, membre de la société de géologie et inspecteur des mines de charbon. Voici comment se répartirait, d'après lui, la production de la houille estimée à 54 millions de tonnes.

	tonnes.
Northumberland, Durham et Cumberland.. . .	11.000.000
Lancashire, Cheshire et nord du pays de Galles.	10.000.000
Staffordshire, Shropshire et Worcestershire. .	8.000.000
Yorkshire, Derbyshire, Warwickshire, Leicestershire et Nottinghamshire.	7.500.000
South-Wales, Monmouthshire, Gloucestershire et Somersetshire.	10.000.000
Écosse.	7.500.000
Total.	54.000.000

Nous puisons dans le rapport du même inspecteur les renseignements statistiques suivants : on compte dans le Lancashire, le Cheshire et le nord du pays de Galles (comtés d'Anglesey, de Flint et de Denbigh) 423 houillères :

Lancashire.	334
Cheshire.	28
Nord du pays de Galles.	61

Ces exploitations sont loin naturellement de présenter toutes la même importance. Les unes n'occupent qu'un petit nombre de bras, tandis que d'autres avec un personnel de 1000 à 1500 ouvriers livrent annuellement à la consommation, de 300 à 350.000 tonnes de charbon. Une seule maison, la maison Andrew Knowles et fils, la plus considérable du Lancashire, produit par jour l'énorme quantité de 2,400 tonnes.

Le nombre des puits ou bures en exploitation, non compris les puits exclusivement d'aérage, s'élève à 879 dans l'arrondissement de M. Dickinson. Ces puits ont jusqu'à 475 mètres de profondeur. 679 de ces puits appartiennent au Lancashire; la profondeur est, en moyenne, de 110 mètres; 50 se trouvent dans le Cheshire et ont une profondeur moyenne de 112 mètres; 150 puits sont dans le nord du pays de Galles et la profondeur n'y excède pas 90 mètres; ces divers chiffres fournissent une moyenne générale de 104 mètres.

Le matériel des charbonnages du district précité se compose de 846 machines à vapeur affectées exclusi-

ment au service intérieur des mines indépendamment d'un grand nombre d'autres appareils, tels que machines hydrauliques, chèvres, roues de puits, etc., d'un usage plus ou moins fréquent.

Dans la plupart des houillères on se sert, pour monter ou descendre les fardeaux, de câbles plats en chanvre; mais on commence à les remplacer avec avantage par des câbles de fil de fer qui, pour les puits de grande profondeur, sont préférables à cause de leur légèreté. Les chaînes plates à triple chaînon sont communément employées dans le nord du pays de Galles. On rencontre aussi la chaîne simple, mais elle présente peu de sûreté pour les hommes. Les bures sont généralement munies de conducteurs (*guides*), soit en bois, soit en fil de fer. Dans une dizaine de puits, on a adapté les chaînes dites sans fin, qui communiquent avec toutes les galeries de la houillère; au delà d'une certaine profondeur, leur emploi paraît toutefois offrir des dangers. Ce système ne fait du reste aucun progrès.

Voici un relevé approximatif de la production des houillères du Lancashire, du Cheshire et du nord du pays de Galles pendant l'année 1852. Les chiffres exprimés en tonnes méritent d'autant plus de confiance qu'ils ont été fournis pour le plus grand nombre par les propriétaires eux-mêmes :

Lancashire.	8.255.000
Cheshire.	715.000
Nord du pays de Galles. .	953.000
Total.	9.923.000

A la réserve d'un million de tonnes environ, cette énorme quantité de combustible paraît avoir passé dans la consommation du district, indépendamment des importations du sud du pays de Galles, du comté d'York, etc. Les exportations de Liverpool pendant la même année ont été de 383,597 tonnes, 105,952 tonnes pour le Royaume-Uni et 277,645 pour l'étranger. A ce chiffre viennent s'ajouter les quantités expédiées des autres ports du district, ainsi que 50,000 tonnes environ transportées par railway du Lancashire à Londres et dans le sud de l'Angleterre.

En 1852, la population employée par l'industrie houillère du district d'inspection de M. Dickinson, formait un total de 38,800 individus, dont 31,950 étaient occupés à l'intérieur de la mine, et 6,850 à la surface; en voici le dénombrement :

	Dans la mine.	Hors de la mine.	Total.
Lancashire.	5.370	25.530	30.900
Cheshire.	560	2.140	2.700
Nord du pays de Galles.	920	4.280	2.700
Total.	6.850	31.950	38.800

Il va sans dire que la quantité de houille extraite par personne ne peut être établie que d'une manière approximative. Elle varie selon les lieux et le mode d'exploitation. On l'estime en moyenne pour 1852 à 310 tonnes par ouvrier travaillant à l'intérieur de la mine. Dans le nord du pays de Galles, elle est de 222 tonnes seulement, mais dans le Lancashire et le Cheshire, elle atteint 324 tonnes. On calcule qu'un houilleur ordinaire d'un de ces deux comtés extrait environ quatre tonnes par journée dans une veine de quatre pieds; mais chacun d'eux est assisté d'un manœuvre appelé *drawer*, dont le travail consiste à transporter la houille du point d'extraction aux voies qui traversent la mine, et si l'on ajoute à cette classe d'ouvriers les nombreuses catégories de travailleurs, tels que les terrassiers, charretiers, mécaniciens, chauffeurs, etc., etc., qui viennent abaisser la moyenne du produit par individu, et que l'on tienne compte du jour de chômage généralement accordé toutes les quinzaines aux mineurs, on ne sera pas surpris que cette moyenne ne soit pas plus élevée.

Les veines actuellement exploitées varient en épais-

seur de 11 pouces à 10 pieds environ ; le plus grand nombre mesurent de 3 à 7 pieds.

Le rapport de M. Charles Morton, inspecteur des houilles du Yorkshire, du Derbyshire, du Nottinghamshire, du Leicestershire et du Warwickshire, sans être aussi circonstancié que celui de M. Dickinson, contient néanmoins des informations intéressantes. Ce district s'étend de Leeds au nord, à Coventry au sud, et comprend 440 charbonnages qui se répartissent ainsi :

Yorkshire.	265
Derbyshire et Nottinghamshire. .	150
Leicestershire.	10
Warwickshire.	15
Total.	440

Le nombre de puits en exploitation s'élève à 800 environ, dont la grande majorité possèdent des machines à vapeur.

On rencontre, dans le Yorkshire, beaucoup de mines sans profondeur ni étendue, exploitées à peu de frais et n'occupant qu'un nombre d'ouvriers très-limité. Les houillères qui ont une véritable importance sont celles placées à proximité des établissements sidérurgiques du district ou de voies de communication faciles.

On compte un grand nombre de puits ayant moins de 91 mètres de profondeur ; quelques-uns seulement excèdent 228 mètres. Quant aux couches, leur épaisseur varie de 18 pouces à 10 pieds.

MM. William Lancaster et Robert Williams, inspecteurs des mines de houille de l'Écosse, évaluent à 21,700 le nombre d'ouvriers employés par l'industrie houillère de leur district en 1853. On aurait extrait pendant la même année 7,132,000 tonnes de charbon.

ANCIENNES CARRIÈRES DE PARIS.

HISTORIQUE. — FONDATION DE L'INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES. — SYSTÈME DE TRAVAUX. — RENSEIGNEMENTS STATISTIQUES. — ATLAS SOUTERRAIN DE PARIS.

Par M. EUGÈNE DE FOURCY, ingénieur des mines.

Toutes les descriptions de Paris, tous les Guides du voyageur dans la Capitale ont un chapitre pour les anciennes carrières qui s'étendent sous cette ville, et la plume d'un ingénieux écrivain (1) s'en est récemment emparée pour y placer la scène d'un de ses plus sombres romans (2). Sans sortir du domaine de la réalité, nous

(1) M. Élie Berthet.

(2) Les anciennes carrières de Paris ont été ouvertes dans les bancs calcaires placés vers la partie inférieure du terrain tertiaire, et connus depuis longtemps par les géologues sous le nom de calcaire grossier. Ces bancs forment, réunis, une épaisseur de 15 à 20 mètres ; mais ils ne sont pas tous propres à la construction. Les assises utilement exploitables n'ont pas ensemble plus de 5 à 6 mètres.

Les exploitations de calcaire grossier ne sont d'ailleurs pas les seules que comporte le bassin tertiaire de Paris. En procédant de bas en haut, et sans sortir des limites du département de la Seine :

La *craie*, qui forme le fond du bassin, donne à la fois le blanc, dit blanc d'Espagne, et l'un des éléments de la chaux hydraulique artificielle ;

L'*argile plastique* fournit le second élément de la chaux

avons cru exciter quelque curiosité en présentant à l'Exposition universelle les quatre premières feuilles de l'Atlas souterrain de Paris publié, par nos soins, sous la direction de M. Lorieux, ingénieur en chef du département de la Seine. Une courte notice explicative est jointe à cet atlas, et nous avions pensé, bien qu'elle eût perdu par la publication le caractère d'un document original, qu'elle pouvait être insérée dans les Annales du corps auquel nous avons l'honneur d'appartenir. On a bien voulu trouver que notre longue expérience des Carrières-sous-Paris devait nous mettre à même d'élargir, avec quelque intérêt pour le lecteur, le cadre, nécessairement restreint, de notre notice explicative. Nous avons essayé de répondre à cette bien-

---

hydraulique artificielle, et s'emploie en outre comme terre à brique ou à poterie;

Le *calcaire grossier* a été et est encore l'objet d'une active exploitation, comme pierre à bâtir et comme pierre à chaux;

Les *sables et grès marins*, dits grès de Beauchamp, donnent aux poëliers la terre à four;

Le *calcaire d'eau douce inférieur* contient les célèbres amas gypseux de Montmartre et des buttes Chaumont, des bancs de marne propre à la fabrication de la chaux hydraulique naturelle, une puissante assise de *glaise verte* employée aux mêmes usages que l'argile plastique, et des lits calcaires dont on extrait une chaux grasse très-estimée sous le nom de chaux de Champigny;

Les *grès de Fontainebleau* sont représentés par d'épaisses masses d'un sable fin dont plusieurs veines sont recherchées pour la moulerie;

Enfin les *terrains diluviens* fournissent le sable, le gravier et les cailloux que le pavage ou l'empierrement des voies publiques consomme depuis quelques années en si grande abondance.

Peu de villes, on le voit, ont à leurs portes d'aussi grandes ressources, et, indépendamment des circonstances politiques et géographiques qui ont fait de Paris la seconde ville du monde, on peut attribuer, pour une large part, à la richesse minérale du sol la magnificence de cette grande capitale.

veillante opinion, en rassemblant dans ces quelques pages les faits les plus saillants d'un service auquel nous sommes attaché depuis treize années.

HISTORIQUE.

Bernard de Palissy raconte dans son Traité des Pierres (page 68 de l'édition de Faujas), qu'en 1575 il visita les carrières du faubourg Saint-Marcel avec un de ses amis, et qu'*ils allèrent près d'une lieue dans ces carrières.*

On lit dans les procès-verbaux de l'ancienne Académie d'architecture :

Séance du 12 juillet 1678.

« Ce jourd'hui, M. Perrault, contrôleur de Sa Majesté, » ayant fait savoir qu'il avait quelque chose à proposer de la » part de Monseigneur Colbert à MM. les architectes, on se » serait assemblé à l'heure accoutumée où étant, mon dit sieur » Perrault aurait fait voir un billet signé de mondit sieur Col- » bert, du 11ème du présent mois, par lequel il ordonne aux » architectes du Roy, qui s'assemblent en académie, de visiter » promptement toutes les anciennes églises et les anciens bâ- » timents de Paris et même des environs, s'il était nécessaire, » pour voir si les pierres sont de bonne ou de mauvaise qua- » lité..... de quelles carrières elles ont été tirées, si ces car- » rières subsistent ou non..... ce que la compagnie a résolu de » faire au plus tôt..... »

Et le procès-verbal du lendemain 13 juillet constatait que, suivant l'ordre de monseigneur Colbert, l'Académie s'était mise immédiatement à l'œuvre.

La compagnie qu'interrogeait Colbert comprenait alors onze noms, tous célèbres à différents titres dans l'histoire de l'architecture. C'étaient François Blondel, l'auteur de la porte Saint-Denis; Le Vau, le continuateur des Tuileries; Libéral Bruand, le fondateur de la

Salpêtrière; Daniel Gittard, qui construisit l'Institution de l'Oratoire, aujourd'hui l'hospice des Enfants-Trouvés; Antoine le Pautre, l'un des créateurs du palais de Saint-Cloud; Pierre Mignard, dont les œuvres décorent le midi de la France; d'Orbay, l'élève et le collaborateur de Le Vau; Claude Perrault, dont le nom durera autant que la colonnade du Louvre; Mansard (Jules) Hardouin, le neveu de François, à qui les Invalides doivent leur dôme et Versailles sa chapelle; La Motte Coquart, architecte apprécié de ses contemporains, et enfin le père de l'illustre historien de Paris, Félibien (André), qui tint la plume comme secrétaire.

L'Académie ferma son procès-verbal le 17 avril 1769. Ses recherches avaient duré quinze mois, et s'étaient étendues au nord jusqu'à Rouen, au midi jusqu'à Chartres (1).

Quatre-vingt-seize monuments de l'Ile de France avaient été soigneusement examinés, depuis leurs plus anciennes substructions jusqu'à leurs assises les plus modernes. Une étude approfondie de vingt-cinq groupes de carrières avait fait connaître la nature ou l'aspect de tous les bancs de pierre exploités, et en comparant les matériaux des édifices avec les produits des exploitations, les architectes de Sa Majesté avaient pu assigner l'origine des diverses assises de chaque construction.

Parmi les 96 monuments étudiés par l'Académie, il

(1) Son rapport se trouve cité pour la première fois, à notre connaissance, dans la *Description des Catacombes de Paris*, publiée en 1815 par M. Héricart de Thury et devenue fort rare. Il a été depuis imprimé par les soins de M. le comte de Laborde dans la *Revue de l'architecture et des travaux publics* (10e volume, année 1852), et accompagné d'annotations intéressantes dues à MM. de Laborde, Viollet-Leduc, Desmarets et Paul Michelot.

en est 45, dont les carrières de Paris ont fourni les premiers matériaux; tels sont entre autres:

Sur la rive gauche de la Seine:

Les Thermes de Julien, dont les murs présentent alternativement des bandes de quatre rangs de briques et de six rangs de moellons durs de Paris;

L'abbaye de Sainte-Geneviève, commencée sous Clovis, vers l'an 500;

Le portail de Saint-Julien le pauvre, l'une des plus anciennes églises de Paris, où logea Grégoire de Tours sous Chilpéric Ier, vers l'an 580 (actuellement comprise dans l'enceinte de l'Hôtel-Dieu);

L'abbaye de Saint-Germain-des-Prés et son église, dont on rapporte le portail et la tour à la première fondation faite par Childebert Ier, dans le VIe siècle;

L'église de Saint-Étienne-des-Grès, qui figure dans une lettre de Henri Ier, en 1031 (démolie en 1792);

L'abbaye de Saint-Victor, bâtie avant Louis VI, dit le Gros, c'est-à-dire avant 1113, et dont l'emplacement est actuellement occupé par la halle aux vins;

Les bâtiments construits par saint Louis dans le couvent des Jacobins (aujourd'hui détruit), situé rue Saint-Jacques, en face de la rue des Grès;

Le monastère des Cordelières de Saint-Marcel, établi dans l'ancien palais de la reine Marguerite, femme de saint Louis, qui en fit don à ces religieuses, l'an 1294;

L'abbaye des Bernardins, fondée en 1336 par Benoît XII (où se trouve aujourd'hui une caserne de pompiers, rue de Pontoise);

Les parties basses de l'église de Saint-Séverin, qui remontent à l'an 1347;

Le Petit-Châtelet, bâti sous Charles VI;

Le grand couvent des Chartreux, dont on voit encore quelques vestiges dans le jardin du Luxembourg, des deux côtés de l'avenue de l'Observatoire ;

L'Hôtel de Cluny (rue des Mathurins-Saint-Jacques), construit dans le XVe siècle.

Dans la Cité.

Toutes les parties de Notre-Dame antérieures à 1257, son cloître, et les églises voisines, dites du Petit-Pas et de Saint-Jean-le-Rond (aujourd'hui détruites) ;

Toutes les constructions de l'Hôtel-Dieu antérieures à 1385.

Sur la rive droite de la Seine.

La tour de Notre-Dame-des-Bois, construite dans l'ancien cimetière des Innocents à une époque très-reculée, et l'hospice de Sainte-Catherine établi au bord d'une forêt qui s'étendait jusqu'aux Champeaux, aujourd'hui les Halles ;

Saint-Martin-des-Champs, ancien palais de Robert, fils de Hugues Capet, converti en monastère dès le XIe siècle (aujourd'hui le Conservatoire des Arts-et-Métiers) ;

L'église de Sainte-Opportune reconstruite au XIIIe siècle (démolie en 1792) ;

L'Hôtel de Ville, la tour de Saint-Jacques-la-Boucherie, et le château de Madrid, au bois de Boulogne, bâtis sous François Ier ;

La fontaine primitive des Saints-Innocents, au coin de la rue aux Fers et de la rue Saint-Denis ;

Les premières assises et les têtes de mur des constructions faites au nouveau Louvre sous Henri II et Charles IX ;

Les Tuileries de Catherine de Médicis (1566) ;

Le portail de Saint-Gervais, dont Louis XIII posa la première pierre, en 1616.

L'Académie expose (art. 37 de son Rapport), qu'elle se transporta aux carrières des Chartreux, à l'endroit appelé le Mont-Parnasse, qu'on descendait dans ces carrières (1) par une ouverture en forme de puits, et elle nomme tous les bancs de pierre qu'on y rencontre encore aujourd'hui. Elle ajoute (art. 38) que derrière et proche l'Institution de l'Oratoire (aujourd'hui les Enfants-Trouvés) étaient des carrières du plus beau *liais*. Gittard, l'un des académiciens, architecte de l'église de l'Institution, déclare (art. 39) que toutes les pierres dont il a eu besoin ont été extraites d'une carrière située dans l'enclos même de la maison (2).

L'Académie remarque (art. 41) qu'elle a vu dans les terrains du monastère des Cordelières-Saint-Marcel des pierres provenant de carrières ouvertes sur le lieu même.

Le rapport des architectes de Sa Majesté manque de conclusion. Mais il résulte de l'examen auquel ils soumirent tous les anciens édifices que *si l'on veut bâtir solidement, de durée, et avec une beauté extérieure*, l'on doit employer la pierre de Paris pour les *embasements*, pour les bases des colonnes, pour les cymaises des corniches, et que dans le reste on peut employer la pierre

(1) Les routes qui conduisaient à ces carrières sont figurées sur le plan de Lagrive (1740).

(2) Les travaux souterrains que nous venons de faire exécuter pour le compte des Dames de la Visitation, propriétaires actuelles d'une partie de l'ancien enclos des Oratoriens, nous ont fait retrouver la carrière exploitée par Gittard.

tendre exploitée à Saint-Leu et à Trossy sur les bords de l'Oise. Il résulte également de leurs observations que jusqu'au XIIe siècle, les palais, les églises et autres monuments de Paris furent construits avec la pierre des carrières ouvertes aux portes de la ville, dans les buttes Saint-Marcel, Saint-Jacques, et du Mont-Parnasse, et que les pierres de l'Oise affluèrent plus tard à Paris, où elles furent principalement employées dans les assises supérieures des édifices.

Si l'on ajoute aux quantités énormes de matériaux consommés par les monuments du vieux Paris, toutes celles qu'absorbaient les constructions privées, on ne sera pas surpris du développement immense pris par des carrières où l'on venait ainsi incessamment puiser.

Ces exploitations continuées pendant plusieurs siècles, sans aucune précaution de la part des exploitants, sans aucune surveillance de la part des autorités, ne pouvaient manquer d'avoir à la longue des résultats funestes. L'enceinte de Paris en s'avançant vers le sud avait progressivement embrassé tous les terrains fouillés par ses premiers habitants. Mais comme il n'existait aucun plan des anciennes carrières, comme les puits qui y donnaient accès étaient pour la plupart comblés, la tradition seule conservait le souvenir de ces fouilles, et l'on savait qu'une partie de la ville de Paris reposait sur des vides immenses, sans que personne se préoccupât d'une aussi dangereuse situation.

Une très-petite portion de ces vides était connue sous le nom de Caves de l'Observatoire et visitée par ceux que la curiosité y amenait. Les conducteurs, après avoir fait longtemps circuler les promeneurs dans les galeries qui se replient et s'entre-croisent sous l'édifice, s'arrêtaient dans un enfoncement où le ciel de la carrière laissait échapper quelques infiltrations de la

fontaine de l'Observatoire, et ils assuraient qu'on était sous la Seine, au delà du Petit-Châtelet (1).

Un effondrement aussi subit que considérable, survenu, en 1774, entre le Boulevard Neuf et la barrière d'Enfer, jeta dans le public les premiers germes d'inquiétude. D'une extrême sécurite l'on passa tout d'un coup à une extrême frayeur. Les plaintes, les murmures des habitants forcèrent le gouvernement à porter son attention sur le danger, et, le 15 septembre 1776, le Roi étant en son Conseil, ordonna *que toutes les carrières seraient incessamment visitées par le sieur Dupont, ingénieur nommé et commis pour prendre connaissance desdites carrières, lever les plans partout où elles s'avanceraient sous les grands chemins, rues, ou maisons de Paris et marquer sur lesdits plans tous les endroits qui manqueraient de soutien et pourraient être en péril.*

FONDATION DE L'INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES.

Les connaissances que procura un premier et rapide examen révélèrent toute l'imminence du danger. Le comte d'Angiviller, directeur général des bâtiments du Roi, crut devoir se rendre compte par ses propres yeux de l'état des excavations accessibles. Il les visita avec le lieutenant de police Lenoir, assisté d'une commission des membres de l'Académie d'architecture. Cette solennelle visite mit hors de doute la nécessité d'affecter un personnel et des fonds suffisants aux opérations souterraines réclamées par la sûreté publique, et, le 4 avril 1777, le sieur Charles Axel Guillaumot, architecte du Roi, se trouvait appelé aux fonctions de *contrôleur, inspecteur général en chef des visites et opérations*

(1) Le Petit-Châtelet défendait, sur la rive gauche, l'entrée du Petit-Pont.

relatives aux carrières de Paris. Il était temps : le jour même où l'inspecteur général s'installait, une maison de la rue d'Enfer s'abîmait dans une ancienne carrière placée à 80 pieds au-dessous du sol.

L'on se mit à l'œuvre avec ardeur. De nombreuses brigades de géomètres s'introduisirent dans tous les vides accessibles et en relevèrent les plans. Des travaux de recherche et de consolidation furent en même temps entrepris à grands frais.

SYSTÈME DE TRAVAUX.

La propriété du sol emporte, pour les carrières, la propriété du dessous avec tous ses profits, et par suite, avec toutes ses charges. L'administration n'a donc jamais pu être tenue de consolider à ses frais les propriétés privées, et ses travaux souterrains ont dû être exclusivement renfermés dans les limites de la voie publique et des édifices municipaux. C'est sur ce principe que repose le système de recherches et de consolidations suivi par l'inspection générale des carrières.

Une rue étant donnée avec les divers accidents que peut présenter l'intérieur d'une ancienne exploitation, les géomètres commencent par lever exactement le plan des vides qui s'étendent sous cette rue et tracent au plafond de la carrière deux traits correspondant, l'un au côté des numéros pairs, l'autre au côté des numéros impairs, et répétant souterrainement toutes les inflexions des deux bords de la rue. Ces traits servent chacun d'axe à une galerie d'un mètre de large, dont les deux parois sont muraillées, soit à sec, soit à mortier, suivant l'état de la carrière. Il résulte de cette disposition que, dans l'une et l'autre des deux galeries, une des parois muraillées double en quelque sorte les fondations de la ligne de façades qui lui correspond, et

répare ainsi, au grand avantage des riverains, les dangereux porte-à-faux qui régnaient sous leur propriété. De distance en distance, des transversales permettent de communiquer de l'un à l'autre côté de la rue. Les parties du sous-sol de la voie publique renfermées entre deux transversales consécutives et les deux galeries longitudinales, sont soutenues au moyen de nombreux *piliers à bras*, formés de blocs de pierre qu'on élève à *bras* d'homme en les posant à sec les uns sur les autres. Le tout est ensuite bourré avec des terres et des recoupes de moellons. Il en résulte qu'à l'exception des galeries muraillées, le dessous de la rue se trouve entièrement rempli, et qu'il est désormais à l'abri de tout effondrement.

Sous les rues peu fréquentées, on n'a souvent construit les parois des galeries qu'à pierres sèches.

Dans les rues très-étroites, on s'est contenté d'une seule galerie percée sous l'axe de la voie publique.

Quand le ciel de la carrière est suffisamment solide, il forme le plafond même des galeries. S'il est délité, tombé, ou rompu, on le remplace par une voûte en maçonnerie.

Lorsqu'une galerie rencontre sur son passage d'anciens remblais de carrière, ou des massifs de pierre inexploités, on la continue, suivant la direction de la voie publique, dans ces remblais, qui fournissent des terres pour les bourrages, ou dans ces massifs de pierre qui produisent du moellon pour les maçonneries.

Quelquefois le percement aboutit à un *fontis*, c'est-à-dire à un effondrement occasionné par un affaissement général du ciel de la carrière et de toutes les couches marno-argileuses qui recouvrent la masse de pierre. Si le fontis est dangereux à traverser, on se contente d'en faire le tour, et l'on reprend un peu plus loin la direction primitive.

La rupture du ciel de la carrière n'entraîne pas toujours la chute de toutes les terres qui le surmontent. Ces terres ne tombent souvent que graduellement, et il résulte alors de ces éboulements successifs une excavation intérieure, en forme de dôme, qu'on nomme *cloche* ou *calotte*, et dont le sommet s'élève de plus en plus vers la surface du sol. Lorsqu'une cloche a peu de hauteur, et qu'on tient à ne point troubler la circulation de la rue, on la remplit par dessous : sinon, l'on perce un puits sur son sommet, et on la comble avec des terres ou des gravats du dehors.

Dans certains quartiers, et notamment aux extrémités des rues Saint-Jacques et d'Enfer, on rencontre un double étage de carrières. Les piliers de masse laissés par les carriers dans l'étage supérieur portaient la plupart du temps à faux sur les vides de l'étage inférieur, et les vices de cette exploitation aggravaient notablement le danger. Lorsque les doubles carrières se sont trouvées sous des édifices, il a fallu construire des piliers en maçonnerie dans la carrière inférieure, à l'aplomb des piliers de masse laissés dans la carrière supérieure. De simples bourrages ont suffi dans les autres parties.

Après d'infructueuses tentatives pour faire exécuter ses travaux à l'entreprise, sur séries de prix, l'inspection générale des carrières n'avait pas tardé à reconnaître la nécessité d'opérer par voie de régie. Nous avons trouvé ce système en vigueur, lorsque nous fûmes appelé, en 1842, à diriger les travaux souterrains de la ville de Paris sous la direction de M. Juncker, ingénieur en chef. Nous l'avons nous-mêmes suivi, en y apportant, dans tous les cas possibles, le tempérament du travail à la tâche. Le tableau ci-dessous indique le prix de revient pour chaque nature d'ouvrage.

Prix de revient de chaque nature d'ouvrage (année 1854).

	CONSTRUCTION à mortier. mèt. cube. (1)		CONSTRUCTION à sec. mèt. cube. (2)		PIQUAGE de moellon. mèt. carré. (3)		FOUILLE. mèt. cube. (4)		TRANCHE dans la masse et levage de bancs. mèt. cube. (5)		CHARGEMENT des terres. mèt. cube. (6)		BOURRAGE. mèt. cube. (7)		ROULAGE A UN RELAI (50 mètres). des matériaux. mèt. cube. (8)		ROULAGE A UN RELAI (50 mètres). des terres. mèt. cube. (9)	
	journ.	fr.	journ.	fr.	journ.	fr.	journ.	fr.	journ.	fr.	journ.	fr.	journ.	fr.	journ.	fr.	journ.	fr.
Main-d'œuvre	1,78	4,67	1,01	2,75	1,66	4,48	0,34	0,91	1,47	4,03	0,27	0,69	0,34	0,85	0,25	0,57	0,22	0,51
Surveillance	»	0,46	»	0,27	»	0,44	»	0,09	»	0,40	»	0,06	»	0,08	»	0,03	»	0,05
Indemnités de maladie et de blessure	»	0,14	»	0,08	»	0,13	»	0,03	»	0,12	»	0,02	»	0,02	»	0,02	»	0,01
	kil.		kil.		kil.		kil.		kil.		kil.		kil.		kil.		kil	
Chandelle	0,178	0,28	0,101	0,16	0,166	0,26	0,034	0,05	0,147	0,21	0,027	0,04	0,034	0,05	0,025	0,03	0,022	0,03
	m.cub		m.cub															
Moellon	0,437	3,96	0,437	3,96	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Chaux	0,057	1,60	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Sable	0,200	1,00	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Bois, outils, serrurerie, réparation de matériel, chaînes	»	0,74	»	0,44	»	0,71	»	0,14	»	0,61	»	0,11	»	0,13	»	0,09	»	0,08
Prix du mètre	»	12,85	»	7,66	»	6,02	»	1,22	»	5,43	»	0,92	»	1,11	»	0,76	»	0,68

Observations. — Le mètre cube de maçonnerie à mortier a coûté 12f,85 ; mais il faut ajouter à ce prix : 1° celui du piquage de moellon (qui, en admettant pour les maçonneries une épaisseur moyenne de 0m,50, coûte 6f,02 × 2 = 12f,04 ; 2° celui de la fouille qui est de 1f,22 ; 3° celui du roulage des matériaux (à 61m,80 en moyenne) qui coûte $0^f,76 \times \frac{61,80}{20} = 2^f,35$: ce qui donne, en réalité, un prix de revient de 28f,46. — Il résulte de la comparaison des colonnes (1) et (2) du tableau que le prix de la maçonnerie à sec est inférieur de 5f,19 à celui de la maçonnerie à mortier et ne s'élève en conséquence qu'à 23f,27. — On doit en outre remarquer qu'il n'est entré dans le mètre cube de maçonnerie que 0m,437 de moellon acheté et que le reste provient des débris de masse recueillis dans les fouilles ou dans les vides de la carrière.

Lors des événements de 1848, l'inspection générale des carrières n'avait pas entièrement échappé aux désordres qui troublèrent, à cette époque, tous les ateliers de Paris. Le travail n'y cessa point un seul jour ; mais la présence des ouvriers auxiliaires engagés temporairement, suivant les instructions du maire de Paris, y avait apporté de regrettables habitudes. Réorganisés six mois après, nos ateliers ont été, à la date du 21 juillet 1848, l'objet d'un règlement dont il suffit de citer quelques articles pour montrer, d'une part, dans quelles conditions de travail nous opérons, et de l'autre, avec quelle bienveillance la ville de Paris traite les ouvriers occupés dans cette branche du service municipal.

Art. 1er. — Les ouvriers employés aux travaux de consolidation des anciennes carrières sous Paris et sous les routes adjacentes, seront distribués par brigades ou ateliers.

2. — A la tête de chacune de ces brigades sera placé un chef d'atelier, assisté, s'il y a lieu, d'un piqueur ou sous-chef.

3. — Ce personnel sera placé sous les ordres des Ingénieurs des Mines du département de la Seine.

. . . . . .

6. — Les admissions et renvois d'ouvriers seront faits directement par les ingénieurs ordinaires, selon les exigences du service et les fonds qui y sont affectés ; il sera rendu compte à l'ingénieur en chef des mesures qui auront été prises à cet égard.

7. — A l'avenir, nul ne pourra être admis dans les ateliers s'il a plus de quarante-cinq ans ou moins de quatorze ans.

8. — Lorsque, par suite de ralentissement ou de cessation de travaux, on sera dans la nécessité de congédier des ouvriers, les réformes seront faites en consultant l'ordre d'inscription de ceux-ci sur le registre matricule, et en commençant par les moins anciens.

Toutefois il y aura lieu à exception en faveur des pères de famille et des ouvriers qui se seront fait particulièrement remarquer par leur bonne conduite, leur aptitude et leur assiduité au travail.

9. — La durée du travail effectif est fixée à dix heures et

comprise entre six heures du matin et six heures du soir. Les ouvriers n'auront la faculté de sortir au jour que pendant le repos d'une heure, placé vers le milieu de la journée.

26. — Les prix des journées pour les diverses catégories d'ouvriers sont fixés comme suit :

	fr.	fr.
1° Carriers, maçons, piqueurs de moellon, chefs de sonde.	2,50	à 2,75
2° Terrassiers, manœuvres.	2,00	à 2,25
3° Garçons ou apprentis.	1,25	à 2,00

27. — Le salaire journalier des piqueurs variera de 3 francs à 4 francs. Les chefs d'atelier recevront une paye de 5 francs par jour.

29. — En cas de maladie, les ouvriers recevront la moitié de leur salaire journalier.

30. — Tout ouvrier blessé dans les travaux recevra son salaire sans réduction, pendant tout le temps que durera l'incapacité du travail.

31. — Si l'incapacité de travail dure plus de trois mois, il en sera fait un rapport spécial au préfet qui statuera.

32. — Tout ouvrier, piqueur ou chef d'atelier qui, par son âge ou par des infirmités contractées au travail dans les carrières, sera devenu impropre à tout service, sera admis à faire valoir ses titres, soit à un secours, soit à une place dans un hospice..... (1).

33. — La veuve de tout ouvrier, piqueur ou chef d'atelier, tué par accident dans les travaux, pourra également obtenir un secours.

Il en sera de même pour les orphelins de la victime, s'ils ne sont pas en état de pourvoir à leur existence.

L'inspection générale des carrières a été fondée le 4 avril 1777. Depuis cette époque jusqu'à nos jours, ses travaux n'ont subi aucune interruption, même pendant les plus mauvais jours de la révolution. C'est qu'en effet, sous quelque forme qu'ait été administrée la ville de Paris, l'autorité a toujours compris qu'il y avait

(1) Le fonds de secours voté par la commission municipale est de 5.375 francs pour l'année 1855.

dans la poursuite de ces travaux un intérêt public de premier ordre.

L'administration municipale fixe chaque année le montant du crédit alloué pour l'exercice suivant. Avant l'ouverture de l'exercice, aux termes d'un arrêté ministériel du 21 mars 1809 et d'une décision du 22 mai 1846, les ingénieurs présentent un projet de travaux qui est adressé par M. le préfet de la Seine à M. le Ministre et soumis par M. le Ministre à l'examen du conseil général des mines.

Si les travaux de l'inspection des carrières n'ont, depuis l'origine, subi aucune interruption, les crédits annuellement consacrés à ces travaux ont singulièrement varié. Porté dans les commencements au chiffre de 400.000 fr. par an, le budget des carrières était, en 1842, tombé à 100.000 fr. Relevé par exception, en 1848, à 180.000 fr., il n'est plus, au moment où nous écrivons, que de 70.000 fr. (1). En admettant une moyenne annuelle de 100.000 fr., on trouve que les carrières de Paris ont, en 77 ans, coûté 7.700.000 francs, somme considérable, mais suffisamment justifiée par l'exposé statistique que nous sommes en mesure d'offrir à la curiosité du lecteur.

RENSEIGNEMENTS STATISTIQUES.

La Seine et la Bièvre forment dans les carrières de Paris trois groupes distincts, entre lesquels ces deux cours d'eau interceptent toute communication.

(1) Le budget des carrières subit maintenant chaque année une réduction graduelle de 5.000 francs. Les travaux atteignent en effet leur terme, et ils n'exigeront bientôt plus que de faibles dépenses d'entretien, si toutefois le mur d'octroi n'est pas d'ici là reporté à l'enceinte fortifiée, mesure dont il est souvent question, et qui rendrait évidemment à l'inspection des carrières toute son ancienne activité.

Premier groupe. Sur la rive droite de la Seine, les carrières de Chaillot occupent une étendue de 422.000 mètres carrés.

L'espace qu'elles embrassent a pour limites : la barrière Sainte-Marie, le Trocadéro, la rue des Batailles, la rue de Chaillot, la rue Pauquet, les réservoirs de la Pompe à feu, la barrière de Longchamp et le boulevard extérieur jusqu'à la barrière Sainte-Marie, point de départ.

Le développement des galeries de recherche et de consolidation exécutées sous le quartier de Chaillot est de 2.946 mètres.

Deuxième groupe. Sur la rive gauche de la Seine, entre ce fleuve et la rive droite de la Bièvre, les carrières des faubourgs Saint-Marcel règnent sous une surface de 590.000 mètres carrés.

Leur périmètre a pour limites : la barrière d'Italie, le boulevard des Gobelins, la rue de Gentilly, les Gobelins, la rue de la Reine-Blanche, le Marché aux chevaux, le boulevard de l'Hôpital, la rue des Deux-Moulins, et le boulevard extérieur jusqu'à la barrière d'Italie, point de départ.

Le développement des galeries ouvertes dans ce groupe de carrières s'élève à 9.471 mètres.

Troisième groupe. Enfin, entre la Seine et la rive gauche de la Bièvre, les vides des faubourgs Saint-Jacques et Saint-Germain constituent un polygone très-irrégulier de 2.395.000 mètres carrés.

Ce polygone a pour limites : la barrière de Vaugirard, la rue de Vaugirard, le boulevard intérieur du Mont-Parnasse, la rue Vavin prolongée, la rue Notre-Dame-des-Champs, la rue du Regard, la rue du Cherche-

Midi, la rue Cassette, la rue Mézière, la place Saint-Sulpice, le carrefour de l'Odéon, la rue Voltaire, la rue Corneille, la rue Royer-Collard, la place Sainte-Geneviève, la rue des Postes, la rue Mouffetard, la rue de la Santé, le boulevard extérieur, depuis la barrière de la Santé jusqu'à la barrière de Vaugirard, point de départ.

A ce groupe se rattachent les carrières isolées du Jardin des Plantes.

Les galeries de recherche et de consolidation exécutées sous ce vaste espace atteignent un développement de 30.765 mètres.

En réunissant les trois groupes ci-dessus décrits, on arrive aux résultats suivants:

	SURFACE des vides d'anciennes carrières.	DÉVELOPPEMENT des galeries de recherche et de consolidation.
	mèt. carrés.	mètres.
Quartier de Chaillot.	422.000	2.946
Faubourg St-Marcel.	590.000	9.471
Faubourgs St-Jacques et St-Germain.	2.395.000	30.765
Total.	3.407.000	43.182

La surface de Paris est de 34 millions de mètres carrés. Les terrains excavés forment donc la dixième partie de cette surface. Quant au développement des galeries, il atteint près de 44 kilomètres (11 lieues). Ces galeries se croisent et s'entrecroisent d'ailleurs en tout sens; elles forment un réseau des plus compliqués, et le célèbre labyrinthe de Crète ne saurait entrer en comparaison avec l'inextricable dédale des carrières parisiennes.

Les anciens vides ne s'arrêtent point au mur d'octroi de Paris; ils s'étendent, bien au delà de ce mur, sous

les communes de Vaugirard, de Montrouge (1) et de Gentilly. Leur prolongement suivant la route d'Orléans atteint près de 5.000 mètres, et, si l'on n'était arrêté par les murailements exécutés sous la barrière d'Enfer pour empêcher la fraude de l'octroi, et sous l'enceinte fortifiée pour assurer la solidité des ouvrages militaires, on pourrait descendre par un de nos escaliers situé rue Bonaparte, près de la place Saint-Sulpice, et remonter, sans avoir pris jour, par un puits de service percé sous la route d'Orléans, au coin du pavé de Bagneux. Ce trajet souterrain serait de 7.500 mètres.

ATLAS SOUTERRAIN DE PARIS.

L'Atlas souterrain de Paris est le résumé du volumineux portefeuille de l'inspection des carrières. En 1815, M. Héricart de Thury, successeur de M. Guillaumot, comptait déjà dans ses archives près de 3.000 plans, coupes, ou profils, dressés pour la plupart à l'échelle de 1/216 (4 lignes pour toise).

Mais l'abondance des matériaux est parfois moins une richesse qu'un embarras. Les premiers plans se

(1) Les anciennes carrières, connues du public sous le nom de *Catacombes*, n'occupent qu'un espace très-restreint (10.933 mètres carrés) dans le vaste système de vides qui s'étend hors de Paris, sous la plaine de Mont-Souris (commune de Montrouge), à l'est de la route d'Orléans. Les travaux destinés à convertir en une vaste nécropole les anciennes carrières de Mont-Souris, ont été terminés par l'inspection générale des carrières en 1786. La consécration des Catacombes eut lieu le 7 avril, et on commença immédiatement à y transférer les ossements du charnier des Innocents. Cette translation dura quinze mois. Le succès de l'opération encouragea l'administration à déposer dans les Catacombes les ossements provenant de la suppression des cimetières annexés aux églises, couvents et hôpitaux de la capitale. Ces translations successives se prolongèrent jusqu'en 1813.

ressentaient de la hâte avec laquelle ils avaient dû être levés. Retouchés ou complétés pendant plus de 60 ans, au fur et à mesure des progrès du travail, par un personnel de géomètres qui s'est plusieurs fois renouvelé, les nombreux plans de l'inspection générale des carrières formaient en réalité une collection très-confuse et d'un mérite assez contestable. Il était notamment impossible de composer un ensemble satisfaisant avec ces matériaux recueillis isolément et de plusieurs mains. Un essai d'atlas entrepris par l'ancienne administration n'avait pas réussi et lorsque l'inspection générale des carrières reçut à la fin de 1841 (1) sa nouvelle organisation, l'une de ses premières préoccupations eut pour objet l'Atlas souterrain de Paris.

Du moment où l'incohérence des matériaux antérieurement réunis exigeait qu'on dressât à nouveau un grand travail d'ensemble, l'on se trouva naturellement conduit à modifier l'ancienne échelle de 4 lignes pour toise : d'une part, pour rentrer dans les conditions du système métrique, et de l'autre, pour réduire l'atlas à des dimensions acceptables. L'échelle de 1/500 (2 millimètres pour mètre) fut en conséquence adoptée par M. Juncker, alors chef du service. Cette première réduction permettait, sans exiger la suppression d'aucun détail, de faire tenir en 54 feuilles la totalité du Paris souterrain. Voici d'ailleurs comment on procéda.

Quelque surprenant que puisse sembler un pareil

(*) Les inspecteurs généraux des carrières se sont succédé dans l'ordre suivant :

M. Guillaumot, de 1777 à 1807 ;
M. Héricart de Thury, de 1809 à 1830 ;
M. Tremery, de 1830 au 21 décembre 1841 ;
M. Juncker, du 21 décembre 1841 au 15 octobre 1851 ;
M. Lorieux, depuis le 15 octobre 1851.

fait, il n'existe aucun plan de Paris. La moindre commune de France possède, à peu d'exceptions près, un atlas cadastral, où ses chemins, ses sentiers, ses champs, ses maisons figurent dans leur dernier détail. Par une regrettable anomalie, rien de semblable n'a encore été fait pour Paris, et toutes les fois qu'il s'agit, soit de percer une nouvelle rue, soit de construire un édifice, il faut que les géomètres de la ville lèvent, pour le besoin de l'affaire, le plan des îlots atteints par l'expropriation.

Dans ces circonstances, nous avons dû, nous aussi, dresser pour notre usage le plan des quartiers souterrainement excavés, et déterminer préliminairement à l'aide d'opérations trigonométriques extrêmement précises les positions respectives de tous les points du dessus qui pouvaient servir de repère pour les plans de dessous.

Ce canevas une fois construit, il a fallu répéter sous terre ce qui avait été fait au jour, et arrêter ainsi les grandes mailles du réseau des anciennes carrières, en se servant, pour établir une corrélatiou parfaitement rigoureuse entre la superficie et le tréfond du sol, des puits, escaliers, ou autres repères choisis à la surface.

Le vaste périmètre qu'embrasse notre atlas s'est ainsi trouvé divisé en polygones, dont les angles et les côtés avaient toute la rigueur désirable. Il ne restait plus qu'à remplir l'intérieur de chaque compartiment, en réduisant au pantographe les anciens plans de détail. Les erreurs de ces plans se trouvaient, par ce procédé, comme cantonnées dans des espaces assez restreints pour n'exercer aucune influence grave sur la bonté du travail. L'amoindrissement de l'échelle diminuait d'ailleurs notamment l'amplitude apparente de ces erreurs, et enfin, eussent-elles même été plus con-

sidérables, nous ne pouvions pas mettre entièrement à néant l'œuvre de soixante-cinq années, et recommencer à nouveaux frais toutes les opérations géométriques de nos devanciers.

Plus tard, en 1852, il nous a paru que notre tâche devait encore recevoir une ample, mais utile extension. Les premiers géomètres de l'inspection indiquaient sur leurs plans, non-seulement les façades, mais les intérieurs mêmes des propriétés particulières. Leurs successeurs ne les avaient point suivis dans cette voie, et quand on parcourt aujourd'hui les îlots de maisons dont ils nous ont laissé les plans on ne trouve, par suite des démolitions et constructions successives, que de rares vestiges des bâtiments indiqués sur ces plans. Il eût été en conséquence illusoire de reproduire sur le nouvel atlas un état de choses qui n'existe plus, et l'on s'était d'abord décidé à y indiquer en arrachement les façades qui bordent la voie publique. Il y avait là, suivant nous, une lacune à remplir. La ville de Paris en consacrant un crédit annuel aux travaux de ses anciennes carrières doit, sans doute, se préoccuper avant tout du sol livré à la circulation. Mais l'intérêt qu'elle porte à la sûreté de ses habitants pouvait-il s'arrêter au seuil même de leur habitation? S'il n'entre pas dans ses devoirs d'exécuter aucun travail de consolidation sous les terrains privés, ne devait-elle pas du moins éclairer les propriétaires de ces terrains sur les dangers qu'ils courent à leur insu? Ne fallait-il pas, quand un particulier vient nous consulter, qu'on pût lui indiquer de suite les points menaçants du terrain qui l'intéresse, et lui présenter à l'instant même comme la double image de sa propriété, superficielle et souterraine. Posée dans ces termes, la question s'est trouvée d'elle-même résolue, et l'Atlas de l'inspection des carrières

donne, en conséquence, aujourd'hui le détail de toutes les constructions, depuis les monuments publics jusqu'aux plus humbles hangars.

Nous avons dit plus haut que le choix de l'échelle de 1/500 avait permis de représenter en 54 feuilles la totalité des carrières de Paris. Mais lorsqu'il s'est agi de publier l'Atlas souterrain de Paris, nous n'avons pas tardé à reconnaître que la gravure et le coloriage de ces 54 feuilles entraîneraient une dépense considérable. Nous avons dû, pour la diminuer, faire subir à nos plans une nouvelle réduction.

L'échelle d'un millimètre pour mètre était, sans aucun doute, l'une des plus simples qui pût être adoptée. Elle est prescrite par l'administration pour tous les plans de mines du territoire français. Elle a été choisie pour les levés du nouveau cadastre. On la trouve en vigueur dans la plupart des plans du service des eaux, des égouts et du pavé de la Ville. Au mérite de mettre l'Atlas souterrain de Paris en harmonie avec tous les travaux du même genre, l'échelle d'un millimètre joignait l'avantage de n'exiger pour l'atlas que 17 feuilles. Une feuille d'un mètre de long sur $0^{m},60$ de haut comprend à elle seule 600.000 mètres carrés, et se prête en conséquence facilement aux recherches dans lesquelles on a besoin d'embrasser d'un coup d'œil un vaste espace de terrain. Elle reproduit d'ailleurs tous les détails des anciens plans à l'échelle de 1/216. Aucune indication de bourrages, de piliers, de maçonneries n'a été sacrifiée, et, sauf d'insignifiantes suppressions, elle a pu recevoir toutes les écritures des documents originaux.

La commission municipale a bien voulu consacrer à

la publication de l'Atlas souterrain de Paris une somme de 30.000 fr. répartie sur six années, de 1854 à 1860. M. le préfet de la Seine a, dans un arrêté du 22 février 1854, réglé les conditions de la gravure confiée à un artiste habile du dépôt de la guerre. La publication de l'Atlas souterrain de Paris doit utilement couronner l'œuvre de l'inspection générale des carrières.

CHEMINS DE FER D'ALLEMAGNE.(1)

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE.

(PREMIÈRE PARTIE.)

Par M. C. COUCHE,
Ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

Imperfection des modes de construction usités en France.

161. La voie, telle qu'on persiste à la construire en France, est le côté faible des chemins de fer ; l'établissement est dispendieux, l'entretien assujettissant, la dépréciation rapide, la sécurité médiocre. Comme beaucoup de problèmes pratiques très-simples en apparence, celui de la construction d'une voie bien appropriée à sa destination est en réalité fort difficile, un des plus difficiles même que les ingénieurs aient jamais eu à résoudre. Les conditions dans lesquelles les éléments sont placés échappent à une définition rigoureuse (225), et l'intensité des actions mécaniques auxquelles ils sont soumis, n'est pas susceptible elle-même d'une appréciation exacte ; de sorte que l'expérience, longtemps prolongée, peut seule juger un système, à moins qu'il ne soit décidément mauvais. On conçoit donc, jusqu'à un certain point, que les ingénieurs même les plus convaincus de l'imperfection des solutions ordinaires, aient mieux aimé s'en tenir à elles que de tenter des expériences à long terme, et de courir la chance de trouver pis en cherchant mieux.

(*) *Voir* la 1re section : TRAVAUX D'ART (*Annales des mines*, 5e série, 1854, tome V, page 245).

162. On s'est à peu près borné jusqu'à présent, en France, à appliquer un mode de construction dont le principal titre est d'avoir presque exclusivement prévalu en Angleterre, où il a, on peut le dire, fait largement ses preuves d'insuffisance. Quant à ses améliorations, elles se réduisent à peu près à l'accroissement des équarrissages ; expédient aussi onéreux, qu'incapable de satisfaire à toutes les conditions mécaniques du problème. Ce n'est pas seulement en augmentant le poids des essieux, par exemple, qu'on a réussi chez nous à se mettre si bien en garde contre leur rupture ; c'est aussi et surtout en perfectionnant leur fabrication et leur forme. D'ailleurs l'addition de quelques kilogrammes au poids de chaque essieu ne tire pas à conséquence ; mais il n'en est pas de même pour une unité qui, comme le rail, se reproduit à l'infini.

L'étude de la question a été plus approfondie en Allemagne que partout ailleurs.

163. Tout ce qui tient à l'établissement de la voie a été étudié depuis plusieurs années en Allemagne avec une véritable prédilection, et avec plus de suite et de méthode que partout ailleurs, sans en excepter l'Angleterre. L'historique de cette longue période de patientes recherches n'aurait aujourd'hui qu'une utilité médiocre ; mais ce qu'il importe d'établir, c'est le résultat auquel elle a abouti. A première vue, on comprend qu'on soit plus disposé, en matière de chemins de fer, à chercher des modèles en Angleterre qu'en Allemagne. Il faut bien le dire, cependant : la voie classique jusqu'à présent en Angleterre, la voie à coussinets, est le résultat de l'imitation. Ce qu'on fait aujourd'hui, ce n'est pas que cela soit bon ou jugé tel, c'est simplement parce qu'on le faisait hier, parce que les constructeurs et les usines ont des habitudes prises, auxquelles il est plus simple de se conformer ; tandis qu'en Allemagne l'uniformité, bien plus générale encore, à laquelle on est arrivé, est

le résultat d'une longue série d'expériences faites contradictoirement, et sur la plus grande échelle comme parcours et comme temps.

Causes qui ont retardé sa solution.

164. Quand on songe que les chemins de fer, dans leur état de développement complet, remontent à plus de vingt ans; que trois ou quatre modes de construction vraiment distincts sont en présence depuis de longues années, on s'étonne que l'expérience n'ait pas encore fixé toutes les incertitudes sur leur valeur relative. — S'il en est ainsi, c'est d'abord parce qu'il y a fort peu de temps qu'on s'est décidé, en France surtout, à recourir au seul mode de comparaison vraiment concluant, c'est-à-dire à l'application, à titre d'essai, des divers systèmes sur une même ligne. C'est aussi, parce que les circonstances ont été jusqu'à présent peu favorables à une comparaison complète de la valeur pratique et économique des divers systèmes. Une telle comparaison exige une période assez prolongée d'état permanent, et cette condition ne s'est presque jamais réalisée. Les progrès de la vitesse avec ses exigences, le poids toujours croissant des machines, ont introduit successivement des conditions nouvelles ; les voies, devenues trop faibles, ont été remaniées avant le temps, pour rétablir, de plus ou moins loin, l'équilibre nécessaire entre la voie, le matériel, la vitesse ; la nouveauté d'un grand nombre de lignes importantes, et ces perpétuelles transformations sur les plus anciennes, expliquent jusqu'à un certain point pourquoi on est si peu avancé sur tout ce qui se rattache à la constitution de la voie ; pourquoi on rencontre, en pareille matière, plus de fantaisies que d'opinions arrêtées et motivées ; pourquoi un système étant admis, on manque de base pour fixer les dimensions de ses éléments ; pourquoi, enfin, on est encore réduit à des conjectures sur la dépréciation des

éléments de la voie, pour un état donné du tracé, du materiel, de la vitesse et du trafic.

L'expérience ne peut suppléer l'observation.

165. Ce n'est pas qu'on n'ait tenté à diverses reprises de suppléer en partie par des expériences spéciales au défaut d'observations comparatives directes. Mais ces expériences, permettant d'apprécier seulement l'influence de la forme des rails sur la résistance transversale, ne touchent qu'à un des côtés de la question, et laissent le champ libre à toutes les opinions sur l'importance des deux genres d'actions; forces normales, forces tangentielles, auxquelles les rails sont soumis.

166. L'accord si complet auquel les ingénieurs allemands ont été conduits, par une discussion constamment guidée par l'observation des faits, constitue assurément une forte présomption en faveur du système qui a rallié à peu près toutes les opinions. Après avoir essayé, sous toutes les formes, le rail symétrique, le rail à champignons inégaux, le rail en Π, le rail américain posé sur longrines, puis sur traverses, c'est à ce dernier mode de construction qu'ils s'arrêtent unanimement. Il faudrait être bien exigeant en fait de preuves pour refuser de voir là tout au moins une grande probabilité en faveur de la supériorité du rail américain. Dira-t-on que cette supériorité n'est pas absolue, qu'elle tient à des circonstances purement locales? Mais quelles seraient donc ces circonstances *locales*, dont l'influence s'étend de la mer du Nord à l'Adriatique, du Rhin à la Vistule?

Sans doute le système américain n'est pas irréprochable; c'est une solution *actuelle*. Mais y a-t-il, en matière d'art, une solution qui n'en soit pas là, qui ne laisse pas désirer et entrevoir mieux? Aucune; si ce n'est peut-être pour la télégraphie électrique, dont la

pratique a pris possession d'emblée et d'une manière si complète, que l'imagination elle-même ne peut plus concevoir, pour cette application, que de simples perfectionnements de détail.

Les tentatives d'amélioration faites en France n'ont généralement porté que sur des détails secondaires.

167. En dépit de l'expérience laborieusement acquise presque sous leurs yeux, les ingénieurs chargés en France de l'établissement des voies n'ont guère fait que tourner dans le même cercle, quittant le rail symétrique pour le rail à simple champignon, ou réciproquement; augmentant ou diminuant le rayon de la portée, l'épaisseur du corps; modifiant, en un mot, à peu près au hasard, et produisant, surtout pour les coussinets, une incroyable variété de types, entre lesquels le plus habile serait, à coup sûr, fort embarrassé de faire un choix. Il eût mieux valu s'occuper un peu moins d'améliorer le coussinet, et un peu plus de discuter sa raison d'être. Aujourd'hui encore on l'accepte, les trois quarts du temps, sans discussion, comme une nécessité; ou bien, si on le repousse c'est pour recourir au principe, si sujet à caution, des supports continus, ou au rail Barlow; on ferme les yeux sur le résultat frappant que nous offre l'Allemagne, et on va emprunter à l'Angleterre des systèmes de voie tout au moins suspects, à en juger par leur ancienneté et par la rareté de leurs applications dans ce pays; — ou d'autres, hardis, ingénieux, très-prônés, mais qui ont assurément peu de chance de réussir en France, si, comme tout l'indique, ils avortent en Angleterre, c'est-à-dire dans un milieu bien plus favorable à leur développement.

168. On s'est décidé récemment, sur diverses lignes, à soumettre à l'expérience quelques conceptions très-dignes d'un examen sérieux, par exemple celle de M. Barberot, sur laquelle je reviendrai plus tard (246). Les compagnies qui ont consenti à inaugurer ces essais

ont compris et leur intérêt et leur devoir. Les idées justes ou spécieuses ont trop longtemps partagé le sort des inventions malencontreuses et importunes, et il est fort heureux qu'on cesse de leur opposer cette perpétuelle fin de non-recevoir, — le défaut de sanction pratique, — quand elles ne demandent précisément qu'à affronter l'expérience. Mais il est singulier qu'on s'obstine à tenir compte seulement des systèmes connus, trop connus même, et de ceux qui ne le sont pas encore, et à considérer comme non avenue une expérience faite sur plusieurs milliers de kilomètres.

But de ce travail.

Je me propose dans ce qui suit, non de décrire des tentatives désormais sans intérêt, mais de faire ressortir les avantages du rail à base plate sur les formes employées jusqu'à présent en France ; ou je me trompe fort, ou les ingénieurs qui voudront bien examiner la question, ne tarderont pas à se former une conviction semblable. L'importance capitale de la question, et sa nature même, justifieront d'ailleurs l'étendue donnée à quelques développements sans lesquels la discussion eût été incomplète.

Parmi les points sur lesquels il m'a paru utile d'entrer aussi dans quelques détails, je citerai l'application, si souvent discutée, des procédés de conservation des traverses. J'ai insisté seulement sur les observations qui paraissent utilement applicables à la France, sans m'arrêter à la description d'une foule de procédés, dont les uns sont bien connus et les autres peu dignes de l'être.

RAILS A SUPPORTS DISCONTINUS.

§ I. — DISCUSSION DE LA FORME DES RAILS.

Discussion de la forme des rails à supports discontinus.

169. Les rails posés sur des appuis discontinus sont soumis à des efforts qui tendent : 1° à les renverser, et à les faire glisser vers l'extérieur de la voie ; 2° à les écraser et à user leur surface de roulement ; 3° à les fléchir et à les rompre.

La forme générale du rail dérive de cette dernière considération ; comme pour tous les solides chargés transversalement, son profil doit avoir pour type le rectangle évidé, ou le double T équivalant ; cette concentration de métal vers les extrémités de la section permet en même temps de répartir les pressions exercées par les jantes, ou plus exactement de consolider convenablement la zone très-étroite sur laquelle on est dans la nécessité de concentrer ces pressions. Quant à la stabilité de rotation du rail, on peut, ou la comprendre parmi les conditions auxquelles il doit satisfaire surtout par lui-même, en faire un des éléments de la détermination de sa forme, ou bien fixer celle-ci sans s'inquiéter de la stabilité, en laissant à des intermédiaires le soin d'y pourvoir.

Dans le premier cas, la forme de la partie inférieure résulte de la double condition d'assurer au rail par lui-même une stabilité suffisante sur ses appuis, et de répartir le métal d'une manière favorable à la résistance. Dans le second cas, la forme dérive de cette condition unique : que la distribution du métal soit la plus favorable, tant à la résistance transversale qu'aux actions qui engendrent l'usure au contact des roues.

170. Le rail américain d'une part, le rail à deux cham-

pignons de l'autre, sont le résultat des deux manières d'envisager la question ; et quand on adopte le second type, on lui donne une forme symétrique ou une forme non symétrique, suivant les idées qu'on admet sur les conditions les plus avantageuses, soit pour la résistance transversale, soit pour la résistance à l'usure, ou bien encore suivant le degré d'importance relative qu'on attribue à ces deux genres de résistances.

Comparaison, sous le rapport de la résistance, des trois types de rails à supports discontinus.

171. Je commencerai par comparer ces trois profils en supposant les sections égales, les appuis également écartés, et la stabilité de rotation et de glissement également assurée, quels que soient d'ailleurs les moyens par lesquels on la réalise.

J'examinerai d'abord le côté le mieux étudié de la question, la résistance transversale.

Expériences de M. Weishaupt.

Les recherches les plus récentes et les plus complètes sont celles que le gouvernement prussien a fait exécuter en 1851, sous la direction de M. Weishaupt.

Indépendamment de leur utilité directe, ces recherches ont un intérêt plus général : elles ajoutent quelques faits nouveaux à la masse des observations recueillies depuis plusieurs années sur la résistance du fer.

Leur objet.

Déjà en 1851, et même avant, personne en Allemagne ne contestait la supériorité du rail américain, sous le rapport de l'économie d'établissement, de la facilité d'entretien, et à plusieurs égards, de la stabilité et de la sûreté de la voie. Quelques ingénieurs craignaient seulement que ces avantages ne fussent achetés au prix d'une diminution de la résistance transversale du rail. Aussi, quoique le gouvernement eût, à la suite d'un enquête prolongée, adopté le rail américain pour le chemin de l'Est (de Berlin à Kœnigsberg), et quoique la section de Dirschau à Kœnigsberg fût la

seule pour laquelle on pût revenir sur la décision prise, se décida t-il en 1849 à remettre la question à l'étude. Les ingénieurs des chemins de l'État, ceux des compagnies, et les commissaires royaux près les chemins concédés furent consultés; une majorité relative considérable se prononça de nouveau en faveur du type précédemment adopté; mais en présence d'abstentions nombreuses et de doutes persistants, le gouvernement prescrivit un supplément d'instruction et des expériences spéciales sur le point controversé, la résistance transversale.

172. Ces expériences ont été exécutées en 1851 à Berlin, dans les ateliers d'un constructeur, enlevé l'année dernière à l'industrie dans laquelle il avait acquis une juste renommée, M. Börsig. Il n'est pas inutile de rappeler leurs principaux résultats; par la précision inusitée et la puissance de l'appareil adopté, par leur nombre et leur caractère méthodique, elles se placent au premier rang des recherches de ce genre (*).

Disposition de l'appareil.

173. Le tronçon de rail soumis à l'essai était chargé au moyen d'un levier en fonte; il s'appuyait sur deux couteaux en acier, espacés de $0^{m},942$, et portés par deux flasques en fonte. Le levier, mobile autour d'un couteau *aa* (Pl. V, *fig.* 1), porte, au $1/10^{e}$ de sa longueur, un grain d'acier *b*, incrusté dans la fonte, et qui presse le rail.

Il est indispensable, dans ce genre de recherches, que la pression s'exerce suivant une direction rigoureusement constante, la verticale. Les résultats ne seraient, sans cela, nullement comparables. Il faut donc que le levier s'abaisse parallèlement à lui même à mesure que le solide fléchit, c'est-à-dire que le couteau *aa* descende à chaque instant d'une quantité égale à la flèche. On s'était contenté d'abord d'engager l'extré-

(*) Voyez : *Untersuchungen über die Tragfähigkeit verschiedener Eisenbahnschienen*, par Th. Weishaupt, Berlin, 1852.

mité recourbée du levier dans une chape surmontant une vis v, à laquelle on pouvait imprimer un mouvement longitudinal au moyen d'un manchon formant écrou, et dont la collerette dentée c (*fig.* 3) engrenait avec une vis sans fin horizontale, munie d'une manivelle m. Au repos, le levier était soutenu à un bout par la goupille d, et suspendu à l'autre au crochet e. Pour opérer graduellement la mise en charge, on soulevait le plateau f au moyen d'une poulie; et on l'abaissait de même après l'avoir chargé. Les petites flèches, amplifiées par une aiguille dans le rapport de 1 : 10, étaient lues sur un arc gradué en divisions de $2^{mill.},6$. Les grandes flèches étaient mesurées directement au moyen d'une règle munie d'un vernier. On augmentait successivement les charges jusqu'à la rupture, et on mesurait après chaque addition de poids, la flèche sous la charge et la flèche permanente. Mais dès que la charge dépassait une certaine limite, variable avec la nature du fer, il devenait très-difficile, malgré le mouvement de rappel de l'axe du levier, de combattre la tendance du rail au déversement latéral; la vis, dépourvue de guides à la partie supérieure, obéissait trop facilement à cette tendance. Après de longs tâtonnements, on compléta l'appareil, comme l'indiquent les *fig.* 2, 3 et 4; cela suffisait pour les fers durs; mais pour les fers mous, la tendance au gauchissement reparaissait encore, et il fallait, pour la combattre, retourner le rail bout pour bout.

L'expérience indiqua également un vice dans la disposition de l'axe du levier; quand on abaissait le plateau pour appliquer la charge, le grain d'acier h ne revenait pas toujours, à la suite du petit mouvement de bascule du levier, s'appliquer exactement par son milieu sur le couteau aa. Il fallait alors un tâtonnement minutieux pour rétablir cette coïncidence, et avec elle le rapport normal des longueurs des bras. On s'est affranchi de cette difficulté en maintenant le grain h constamment appliqué contre le couteau, dans toutes les positions que prend le levier lorsqu'il n'agit pas; condition remplie en remplaçant la goupille fixe d par une autre mobile d' (*fig.* 2), qu'un contre-poids P tend constamment à soulever. Il suffisait, du reste, — et cela eût été bien plus simple, d'échanger entre elles la position du couteau a, et celle du grain sur lequel il s'appuie.

Un autre effet troublait les résultats : le grain b, appliqué immédiatement sur le rail, finissait par s'y enfoncer comme un coin, surtout pour les fers mous, ce qui pouvait modifier

gravement les conditions de la rupture. La pénétration des appuis, naturellement beaucoup moins prononcée, était cependant assez notable pour qu'il fallût la mesurer et la déduire de la flèche observée. On a complétement éliminé cette cause d'erreur par l'interposition de petites plaques d'acier de $9^{mill.},8$ d'épaisseur.

La charge due au levier avec son plateau s'élevait à 2.920 kilogrammes; on procédait par additions successives de 50 kilogrammes d'abord, puis 250, pour revenir à 50 kil. seulement quand on approchait de la rupture. Il y a en effet une première période dans laquelle l'état d'équilibre est rapidement atteint, de sorte qu'il n'y a alors aucun obstacle à ce qu'on procède par degrés rapprochés; mais ensuite l'équilibre s'établit avec beaucoup de lenteur, et l'expérience deviendrait fort longue si l'on ne forçait pas les doses, jusqu'à ce que les symptômes de rupture avertissent qu'il convient de les réduire de nouveau.

Cet appareil, dont les détails sont bien étudiés, pourrait servir de modèle dans le cas où il s'agirait de faire une grande série d'expériences sur la résistance des matériaux. Seulement le plateau et les poids seraient remplacés avantageusement par une caisse à eau jaugée.

1° Résistance aux efforts verticaux.

Le profil à champignons inégaux est vicieux sous le rapport de la résistance transversale.

174. Le rail à champignons inégaux porte en lui-même, comme tous les solides non symétriques, un moyen bien simple et souvent employé de contrôler, au point de vue de la résistance, le principe de sa forme; il suffit de comparer les résistances observées dans les deux positions, directe et inverse. Si elles sont égales, le profil est défectueux, car cette égalité prouve celle des résistances élémentaires (extension et compression), et celle-ci conduit à la symétrie. Si les résistances à la rupture diffèrent, la dissymétrie est, par ce seul fait, justifiée en principe; il faut seulement ne pas la pousser trop loin, il faut surtout se garder de l'appliquer à contre-sens.

Or, d'après les expériences de M. Weishaupt, d'accord en cela avec d'autres antérieures, c'est ce qui aurait lieu pour les rails à champignons inégaux. Les résistances à la flexion et à la rupture ont toujours été notablement plus petites dans la position normale (ou le gros champignon en haut) que dans la position inverse.

Par exemple le rail à champignons inégaux de Westphalie (Pl. V, *fig.* 10) s'est brisé :

Dans la position normale, sous une charge de 159 q. m.
et avec une flèche de. . . . . $0^m,1425$

Dans la position inverse, sous une charge de 200 q. m.
et avec une flèche de. . . . . $0^m,1505$

Ainsi, l'inégalité des deux champignons admise (et elle doit l'être d'après cette expérience même, qui prouve l'inégalité des résistances élémentaires), ce n'est pas en haut que devrait se trouver l'excès de métal, mais en bas.

Sans doute, les causes de désorganisation auxquelles le champignon supérieur est spécialement soumis, excluent un tel mode de répartition ; mais ce qu'il importe de constater pour le moment, c'est que, si le renflement plus prononcé du champignon supérieur est motivé, ce n'est nullement au point de vue de la résistance transversale.

L'influence de la *figure* masque, dans le rail américain, celle de la *répartition* du métal.

175. Les observations de ce genre, faites sur des rails appartenant à l'autre catégorie de profils non symétriques, c'est-à-dire sur des rails américains, ont conduit à un résultat qui s'explique facilement. Quoique les rails essayés, contiennent les uns plus et les autres moins de métal au pied qu'à la tête, c'est toujours dans la position directe que la résistance est la plus grande. L'influence de la quantité de métal est donc masquée par une autre, celle de la forme ; et en effet le pied,

ainsi aplati, résiste bien à la traction, mais fort mal à la pression ; il est donc tout simple — tant que les aires de la tête et du pied diffèrent peu (ce qui a toujours lieu dans ce type de rail), — que la plus grande résistance corresponde, quel que soit le sens de cette différence, à la position dans laquelle la partie amincie du profil travaille par extension.

176. La série d'expériences suivante mérite d'être reproduite, parce qu'elle met en évidence la rapidité avec laquelle la résistance décroît quand on réduit successivement, en partant de l'égalité des deux renflements, celui qui est soumis à l'extension. Au lieu de comparer entre eux des rails de profils différents, mais qui auraient différé aussi par la nature du fer, on préféra opérer sur des rails d'un seul type (celui de l'Est, qu'on comparait à eux-mêmes après avoir plus ou moins tronqué le pied (Pl. V, *fig.* 14). Chaque rail était coupé en trois tronçons qu'on chargeait jusqu'à la rupture, l'un sans modification, les deux autres après avoir ramené leurs formes à être à peu près celles de deux types à simple champignon.

	centim.
Hauteur du rail.	11,75
Largeur du pied intact.	10,44
— du champignon.	5,66
— du corps.	1,63

TABLEAU I.

PROVENANCES.	POIDS du mètre courant.	CHARGE correspondante à l'apparition d'une déformation permanente.	CHARGE correspondante à la rupture.	FLÈCHE correspondante à l'apparition d'une déformation permanente.	FLÈCHE correspondante à la rupture.	Rapport des charges correspondantes à l'origine de la déformation permanente, et à la rupture.	Rapport des flèches correspondantes à l'origine de la déformation permanente, et à la rupture.	STRUCTURE DE LA CASSURE	Observations.
	kilogr.	q. mét.	q. mét.	mill.	mill.				
1. Usine de Laura (Silésie).	32,62	92,0	308,0	1,8	80,9	1 : 3,34	1 . 44,9	A gros grains, plus fin vers le bord.	
	27,82	69,5	236,0	1,8	63,9	1 : 3,34	1 : 35,6		
	27,45	65,0	231,5	2,0	57,4	1 : 3,55	1 : 28,7		
2. Usine de Piedbœuf, à Röthe-Erde.	32,98	65,0	»	1,4	»	»	»	. . . . .	(a)
	27,83	51,5	»	1,4	»	»	»		
	27,61	47,0	186,4	1,1	»	1 : 3,95	»	A nerf.	
3. Usine de Piepenstock et Cᵉ, à Hörde.	32,99	83,0	»	1,7	»	»	»	. . . . .	(b)
	32,04	83,0	»	1,7	»	»	»		
	27,85	65,0	»	1,6	»	»	»		
4. Usine de Eberhard et Hösch, à Düren.	32,65	114,5	»	2,3	»	»	»	. . . . .	(c)
	27,80	69,5	»	1,6	»	»	»		
	27,59	60.5	195,5	1,4	86,1	1 : 3,23	1 : 61,5	Nerf dans une partie du pied, grain fin partout ailleurs.	
5. Usine de Jacobi, Haniel et Huyssen, à Sterkerade.	32,49	83,0	285,5	1,6	138,1	1 : 3,43	1 : 86,3	Nerf au pied, grain fin dans le reste.	
	27,50	60.5	209,0	1,4	169,6	1 : 3,45	1 : 121.1	Grain moins fin, nerf dans le pied et au sommet.	
	27,59	74,0	204,5	1,7	183,1	1 : 2,78	1 : 105,9	Nerf presque partout.	(d)

(a) Sous une charge de 267ᵗᵐ,5, le rail fléchit de 140 mill. sans se rompre.
(b) Sous une charge de 245ᵗᵐ, flèche de 74 mill. sans rupture.
(c) Sous une charge de 285ᵗᵐ, flèche de 112 mill. sans rupture.
(d) Sous les dernières charges, la couverture se détache, la soudure cédant.

Suite du Tableau.

PROVENANGES.	POIDS du mètre courant.	CHARGE correspondante à l'apparition d'une déformation permanente.	CHARGE correspondante à la rupture.	FLÈCHE correspondante à l'apparition d'une déformation permanente.	FLÈCHE correspondante à la rupture.	Rapport des charges correspondantes à l'origine de la déformation permanente, et à la rupture.	Rapport des flèches correspondantes à l'origine de la déformation permanente, et à la rupture.	STRUCTURE DE LA CASSURE.	Observations.
	kilogr.	q. mét.	q. mét.	mill.	mill.				
6. Usine de Michiels et Cᵉ, à Eschweileraue.	32,67	87,5	276,5	1,6	103,1	1 : 3,15	1 : 64,4	Nerf, sauf quelques parties à grain au milieu du corps et de la tête.	
	28,10	74,0	213,5	1,7	133,1	1 : 2,88	1 : 78,3		
	27,60	69,5	200,0	1,6	148,8	1 : 2,88	1 : 80,5		
7. Usine de Königshütte (Silésie).	32,56	92,0	281.0	1,8	91,4	1 ; 3,05	1 : 50,7	Gros grain à l'intérieur, grain plus fin vers les bords, un peu de nerf dans le pied.	
	28,05	74,0	218,0	1,7	112,2	1 : 2,94	1 : 65,8		
	27,64	56,0	213,5	1,4	114,8	1 : 3,81	1 : 82,0		
8. Usine de Michiels et Cᵉ, à Eschweilerau.	32,76	87,5	290,0	1,7	109,6	1 : 3,30	1 : 64,4	Nerf, sauf une partie de la tête.	
	26,54	51,5	191,0	1,5	109,6	1 : 3,71	1 : 73,9	Nerf presque partout.	
	24,69	42,5	155,0	1,4	63,9	1 : 3,64	1 : 45,2	Nerf au sommet, grain dans tout le corps.	
9. Usine de Königsbütte.	33,38	96,5	308,0	2,0	138,3	1 : 3,19	1 : 69,1	Grain fin aciéreux, nerf dans une partie du pied.	
	26,71	56,0	204,5	1,5	110,9	1 : 3,64	1 : 73,9	Grain fin, nerf dans la partie inférieure du corps.	
	24,70	38,0	164,0	1,4	96,6	1 : 4,31	1 : 69,0	Grain fin, nerf d'un côté du corps.	(e)
10. Usine de Laura.	32,56	83,0	308,0	1,7	87,4	1 : 3,71	1 : 51,4	Grain fin, très-fin sur les bords et au pied.	
	31,17	78,5	281,0	1,6	103,1	1 : 3,57	1 : 64,4	Grain fin, très-fin au corps.	
	29,30	69,5	240,5	1,6	49,6	1 : 3,46	1 : 31,0		
11. Usine de Piedbœuf, à Röthe-Erde.	33,46	69,5	267,5	1,4	»	1 : 3,84	»	Nerf, cassure légèrement cristalline au milieu de la tête.	
	31,92	65,0	258,5	1,4	98,7	1 : 3,97	1 : 70,5		
	30,02	56,0	236,0	1,2	93,9	1 : 4,21	1 : 78,2		

(e) Le renflement inférieur est presque entièrement enlevé.

Dans toutes ces expériences, faites sur des fers de natures très-diverses, jamais le champignon n'a cédé le premier, même dans les rails dont on avait laissé le pied intact. C'est toujours le déchirement de celui-ci qui a donné le signal de la rupture.

Décroissements comparés de l'aire du renflement inférieur et de la résistance.

177. L'influence de la section plus ou moins complète du pied sur la résistance est résumée dans le tableau suivant :

TABLEAU II.

PROVENANCES.	AIRES. (L'aire du rail non tronqué étant prise pour unité.)	CHARGES PRODUISANT (Les charges correspondantes au rail tronqué étant prises pour unité.)	
		une déformation permanente sensible.	la rupture.
1. Laura	1,000	1,000	1,000
	0,850	0,775	0,770
	0,840	0,706	0,750
2. Röthe-Erde	1,000	1,000	»
	0,846	0,792	»
	0,837	0,723	»
3. Hörde	1,000	1,000	»
	0,971	1,000	»
	0,844	0,783	»
4. Düren	1,000	1,000	»
	0,851	0,607	»
	0,843	0,528	»
5. Sterkerade	1,000	1,000	1,000
	0,848	0,891	0,716
	0,846	0,729	0,732
6. Eschweileraue	1,000	1,000	1,000
	0,860	0,846	0,772
	0,844	0,794	0,723
7. Königshütte	1,000	1,000	1,000
	0,860	0,804	0,775
	0,849	0,609	0,760
8. Eschweileraue	1,000	1,000	1,000
	0,811	0,585	0,660
	0,756	0,485	0,534
9. Königshütte	1,000	1,000	1,000
	0,809	0,589	0,663
	0,752	0,393	0,532
10. Laura	1,000	1,000	1,000
	0,957	0,945	0,912
	0,899	0,844	0,780
11. Röthe-Erde	1,000	1,000	1,000
	0,967	0,928	0,964
	0,911	0,805	0,882

La résistance à la rupture décroît donc beaucoup plus rapidement que l'aire ou le poids, résultat qui prouve d'une manière plus directe que le précédent (174) la supériorité du rail à base plate — à sections sensiblement égales de la tête et du pied, sur le rail à simple champignon. Si, comme on le prétend souvent, cette dernière forme était plus favorable à la résistance ; si, en d'autres termes il y avait dans le cas de la répartition égale un excès inutile de métal à la base, l'enlèvement de cet excès n'affecterait pas sensiblement la résistance. Or, on voit que, dès qu'on affaiblit le pied même d'une faible quantité, la résistance est réduite.

179. On peut, il est vrai, contester l'assimilation du rail tronqué après coup, à un rail à simple champignon qui sortirait du laminoir immédiatement sous cette forme. On exagère un peu, en effet, l'infériorité de celle-ci à cause de la résistance plus grande des parties qui ont éprouvé l'action directe des appareils d'étirage. — Mais si le mode d'expérimentation indiqué laisse subsister une cause d'erreur, cette cause est du moins peu importante, et agit dans un sens connu et constant.

Au point de vue de la résistance, la tête et le pied doivent avoir des aires égales.

180. On est donc fondé à conclure, en ayant égard seulement à la résistance transversale, que le pied doit renfermer au moins autant de métal que la tête. — L'égalité des résistances à l'extension et à la compression, longtemps admise comme à peu près exacte, a été contestée depuis les expériences de M. Hodgkinson ; mais il est clair qu'elle peut fort bien avoir lieu pour les fers en barres, et disparaître pour les tubes en tôle, à cause de la forme défavorable des parties comprimées et de leur tendance à fléchir isolément. L'uniformité de répartition pourrait très bien, par exemple, n'être pas fondée dans certaines poutres en tôle (87), sans cesser de l'être pour les rails.

Les expériences dont il s'agit confirment du reste ce fait important, que l'égalité des deux résistances élémentaires se soutient dans une étendue très-considérable de l'échelle, et que c'est seulement aux environs de la rupture que l'axe neutre se déplace — *en quelque sorte par un mouvement brusque.* Ainsi, bien au delà même de la limite des charges pratiques, les rails à champignons inégaux ont pris des flèches sensiblement égales dans les deux positions, directe et inverse. La différence ne dépasse pas 4,2 o/o, chiffre très-faible, surtout si on remarque que l'épreuve, dans la position directe, était faite en second lieu, c'est-à-dire quand le métal était déjà énervé par la précédente, poussée assez près de la rupture.

Comparaison du rail américain et du rail symétrique.

181. Examinons maintenant, toujours au point de vue spécial de la résistance transversale du rail dans la position directe, l'influence de la forme du renflement inférieur, à égalité de section.

Le rail américain peut être regardé comme dérivant du rail symétrique par un simple aplatissement du champignon inférieur.

La hauteur diminuant, la résistance tend par cela seul à diminuer aussi. Mais cet effet peut être compensé en tout ou en partie par le rapport plus favorable du contour à l'aire du pied, et, par suite, par l'accroissement de sa résistance moyenne.

La comparaison n'a pu être faite, comme dans les expériences citées plus haut (176), dans des conditions d'identité absolue du fer. Les rails comparés différaient de nature en même temps que de forme. Mais les expériences ont été assez multipliées pour dégager l'influence des différences de formes, si elle était réelle, de celle des différences de nature du fer.

On a opéré sur les rails suivants :

Américains.	*Symétriques.*
Est prussien.	Westphalie.
Stargard à Posen.	Berlin-Anhalt (d'origine anglaise).
Berlin à Hambourg.	Berlin-Postdam-Magdebourg.
Thuringe.	
Basse-Silésie et la Marche.	

182. D'après M. Weishaupt, chaque forme aurait un avantage spécial : la première, celui de résister un peu mieux à la rupture; la seconde, celui de ne contracter qu'un peu plus tard une déformation permanente. Mais, à vrai dire, les différences observées n'ont nullement le caractère d'une loi; vouloir à toute force les interpréter, leur attribuer une signification générale, c'est se méprendre sur la portée d'un genre de recherches dont les résultats n'ont de valeur qu'à condition d'être nettement accusés. Rien de semblable ici; ou plutôt la conséquence légitime à déduire des chiffres dont il s'agit, ce n'est pas cette propriété spéciale que M. Weishaupt attribue à chacun des deux; c'est tout simplement l'équivalence pratique, à peine masquée, çà et là, par les hasards de l'expérience.

Ces deux formes sont équivalentes sous le rapport de la résistance.

Ce qui le prouve, au surplus, c'est que des différences à peu près du même ordre se sont manifestées parfois entre des rails de même type, et même de profils presque identiques. Ainsi,

La rupture avait lieu (*), pour un rail de Berlin-Anhalt (symétrique), sous une charge de. . . . . $181^{qm},5$
Et pour un rail de Westphalie, *idem*. . . . . $159^{qm},5$
Tandis que la déformation permanente devenait sensible pour le premier, sous une charge de. . . . . $47^{qm},00$
Et pour le second. . . . . $60^{qm},50$

Il est impossible de rattacher à l'influence de la forme des divergences qui affectent également les rails

(*) *Untersuchungen über*, etc., p. 14 et 15.

de même profil; on doit donc admettre que, sous le rapport de la résistance transversale, les deux formes se balancent; et c'est dès lors dans l'examen des autres conditions, qu'il faut chercher des motifs de préférence.

Digression sur la distinction à établir entre la déformation permanente et l'altération de l'élasticité.

183. On a constaté fréquemment en Allemagne l'existence d'une légère flèche permanente, sur des rails qui étaient dans l'origine parfaitement droits. Une altération, même très-légère, de la forme, a été souvent regardée comme l'indice d une désorganisation intérieure destinée à croître graduellement sous l'action répétée des efforts qui l'ont produite, et comme devant ainsi aboutir fatalement, tôt ou tard, à la rupture. On sait cependant depuis longtemps qu'il n'en est pas nécessairement ainsi pour la fonte; tout indique que le fer est dans le même cas, et que pour l'une comme pour l'autre, l'exagération de la charge commence seulement quand l'élasticité est altérée dans le sens rigoureux de ce mot, c'est-à-dire à partir du point où les flèches croissent plus rapidement que les charges. Or l'établissement d'un nouvel état d'équilibre, dont la déformation permanente est l'indice, n'implique nullement, dans certaines limites, une *altération de l'élasticité*; de sorte qu'il y a quatre périodes à distinguer dans les effets que produit successivement l'application d'une charge croissante :

1° Aucune déformation sensible, appréciable par les moyens ordinaires, ne persiste après l'enlèvement de la charge.

2° La flèche permanente apparaît; la forme est modifiée, mais l'élasticité ne l'est pas encore. La constance du rapport entre les flèches et les charges se maintient.

3° L'élasticité elle-même est altérée; les flèches cessent d'être proportionnelles aux charges, et croissent de plus en plus rapidement.

4° La rupture a lieu.

En soumettant de nouveau à la même succession de charges croissantes des rails auxquels elles avaient fait prendre une légère flèche permanente, M. Weishaupt a constaté en effet que le solide repasse exactement par les mêmes formes. Il ne prenait, par les applications subséquentes des mêmes charges, que des flèches égales à celles qu'elles avaient produites la première fois; un peu inférieures même, puisqu'elles étaient diminuées de la flèche préexistante du solide à l'état libre; de sorte que, rigoureusement parlant, *l'application d'une charge capable de modifier l'état moléculaire du corps le rend, dans certaines limites, plus roide qu'avant.* Mais, quoique distincts en réalité, le point où la déformation permanente devient appréciable et celui où commence l'altération de l'élasticité, sont assez près de se confondre pour qu'on puisse, en pratique, admettre comme on le fait, qu'il en est réellement ainsi.

J'ai déjà indiqué (68-70) les motifs qui semblent repousser comme inutile ou même comme dangereuse, la production préalable d'une certaine déformation permanente du fer destiné aux constructions; d'après les expériences de M. Weishaupt, conformes en cela à celles bien antérieures de M. Wertheim, le phénomène se produirait, pour les rails, sous des charges relativement plus faibles que pour les boulons mis en œuvre par M. Pauli (par exemple $\frac{1}{4,21}$ de la charge de rupture; expérience 11); de sorte qu'une très-légère altération de la forme devrait être regardée comme souvent inévitable. Mais on n'a pas à s'en préoccuper, puisque, d'une part, elle ne constitue pas nécessairement par elle-même une prédisposition à la rupture, et que de l'autre elle n'augmente nullement la flèche sous la charge, et n'a dès lors aucune influence appréciable sur la force centrifuge des charges en mouvement.

184. Le rapprochement ci-dessous :

Remarque sur l'absence de relation entre les flèches de déformation permanente et de rupture, et la structure du fer.

FLÈCHE CORRESPONDANT à la déformation permanente.	FLÈCHE CORRESPONDANT à la rupture.	STRUCTURE DU FER.
millimètres.	millimètres.	
1,8	80,9	Gros grain.
1,6	138,1	Nerf et grain fin.
1,6	103,1	Nerf.
1.8	91,1	Gros grain, plus fin aux bords.
1,7	109,6.	Nerf.
2,0	138,0	Grain fin aciéreux.
1,7	87,4	Grain fin.

des observations de flexions faites (176) sur les rails non tronqués constate deux faits assez remarquables: 1° la flèche sous charge, à laquelle correspond une altération permanente du profil longitudinal, varie peu, malgré les différences de nature du fer; 2° la flèche de rupture varie beaucoup plus, mais sans que ces

variations aient le moindre rapport avec la texture dominante du fer. On sait depuis longtemps qu'il en est de même du coefficient d'élasticité; cet élément n'est pas constant, loin de là, mais ses écarts sont tout à fait indépendants des autres caractères mécaniques et physiques du métal.

Je me borne à signaler en passant ces deux conséquences, déduites d'un nombre d'observations trop restreint pour mériter qu'on s'y arrête davantage, et qui d'ailleurs se rattachent à un ordre de faits et de considérations sur lesquels je reviendrai plus tard.

2° Résistance aux efforts horizontaux.

Elle n'a qu'une importance secondaire.

185. Cette résistance n'a qu'une importance secondaire; un rail remplissant les autres conditions peut être regardé comme satisfaisant par cela même à celle-ci, pourvu qu'il soit convenablement fixé sur ses supports; il n'était cependant pas sans intérêt d'étudier aussi sous ce rapport le rail américain, ne fût-ce que pour ne pas laisser un champ libre aux objections.

Le rail était posé de champ; le levier, pressant seulement le bord du champignon (Pl. III, *fig.* 29), sollicitait le rail à peu près comme le font les boudins des roues; seulement la disposition des appuis était plus favorable à la résistance latérale qu'elle ne l'est dans la réalité, surtout pour le rail américain.

Résultat principal de ces expériences.

La conséquence saillante et jusqu'à un certain point imprévue de ces expériences, est l'uniformité persistante de la flexion dans toute l'étendue d'une même section transversale, malgré la position extrême du point d'application de la charge; pour mieux dire, le profil transversal se déforme plus ou moins, mais sans cesser d'être symétrique. Un rail du chemin de Basse-Silésie-et-la-Marche (Pl. V, *fig.* 5), ayant seulement $0^{m},014$ d'épaisseur au corps, n'indiquait encore, sous une charge de 47^{kgm}, aucune tendance de la part du pied à rester en arrière relativement à la tête. La solidarité de la tête et du pied, très-persistante, quoique limitée (202) sous l'action des efforts verticaux, subsiste donc aussi sous des pressions horizontales même fort élevées; fait qui suffit pour établir immédiatement la supériorité du rail américain sur le rail à champignon, quant à la résistance dont il s'agit, la disposition des appuis étant supposée la même; car l'aplatissement du pied augmente le moment d'inertie.

Le rail symétrique du chemin de Westphalie, qui a très-sensiblement la même section que le rail à large base de Berlin à Potsdam, a pris en effet, sous la même charge ($28^{kgm},5$), une flèche plus grande dans le rapport 1,7:1.

Pour ce même rail de Westphalie et le rail de l'Est, les sections sont ::1:1,13, et les roideurs ::1:3,15.

La déformation permanente commençait, pour le rail de l'Est, sous une charge de $29^{kgm},2$, égale à 1/3 de celle qui produisait le même effet, en agissant dans le sens de la hauteur du rail. Voici un exemple de la marche suivie, à partir de ce point, par les flèches sous charge et permanentes.

CHARGES.	FLÈCHES	
	sous la charge.	permanentes.
q. mét.	mill.	mill.
29,2	2,5	0,05
33,5	2,9	0,10
38.0	3,4	0,20
42,5	3,9	0,60
47,0	4,6	0,68
52,5	5,7	»
56,0	8,1	0,81

Il est très-remarquable que la symétrie de la section transversale persiste, que toute la section fléchisse ainsi en masse, sous des charges considérables, appliquées d'une manière si défavorable. On doit tenir compte de ces faits dans la détermination de l'épaisseur du corps; pourvu que le métal ne soit pas trop ductile, on peut adopter pour la nervure une cote assez faible sans nuire

à la solidarité des parties extrêmes, même dans les conditions les plus désavantageuses de l'application des efforts.

Comparaison des rails américain, symétriques, et à champignons inégaux, sous le rapport des conditions autres que la résistance.

186. Le rail américain a donc, comme résistance, une incontestable supériorité sur le rail à champignons non symétrique ; et il est, sous ce rapport, tout au moins l'équivalent du rail symétrique.

Mais la résistance n'est qu'une des faces de la question ; voyons les autres.

Rappelons d'abord les autres arguments qu'on peut faire valoir en faveur de chacune des trois formes :

1° Le rail à double champignon a une propriété caractéristique, celle de pouvoir être retourné *sens dessus dessous*, et d'utiliser ainsi deux surfaces de roulement au lieu d'une.

2° Le profil à petit champignon sacrifie une partie de la résistance transversale (174 et suiv.), mais il consolide la région qui subit l'action immédiate des efforts, et qui s'altère seule notablement, quand le rail est assez fort ; il permet, de plus, de réduire le poids du coussinet.

3° Le titre du rail américain est la suppression du coussinet.

Paye-t-on trop cher cet avantage en renonçant à la faculté du retournement ? Telle est la question à laquelle se réduit, en définitive, la comparaison de ce rail et du rail symétrique. Il est vrai que le premier n'est pas comme le second maintenu latéralement par des appuis : mais les expériences citées (185), et bien plus la longue pratique de plus de 7.000 kilomètres de voies prouvent que ce rail ne tend nullement à se déjeter sous l'action des efforts horizontaux ; de sorte que, pourvu qu'il soit bien fixé par le pied, il n'a aucun besoin d'être appuyé plus haut.

Mettons donc dans la balance, d'une part, les avantages du retournement, de l'autre, ceux de la suppression du coussinet.

Du retournement du rail symétrique.

Retournement du rail symétrique.

187. Le retournement sens dessus dessous est condamné par un grand nombre d'ingénieurs. Le champignon qui a éprouvé des altérations assez graves pour devenir impropre au roulement ne peut plus, dit-on, s'adapter convenablement au coussinet, et le rail manque de stabilité. D'autres ont vu un danger dans le changement de sens des efforts auxquels le rail a été soumis pendant longtemps, comme si le métal contractait des habitudes qu'on dût se garder de changer. A l'appui de ce scrupule on a invoqué le passage du fer à l'état cristallin surtout dans le champignon supérieur, qui deviendrait ainsi très-peu propre à résister à l'extension. Bref le retournement serait aujourd'hui, à entendre ses adversaires, une pratique définitivement condamnée.

Il n'en est rien ; aujourd'hui comme il y a huit ou dix ans, le retournement est en vigueur sur les anciens chemins à rails symétriques, ceux d'Orléans, de Rouen, du Nord, etc..., et on l'applique également sur les lignes plus récentes, celles de Lyon par exemple (*). Ce qu'il y a de vrai, ce n'est pas que le retournement soit mauvais en lui-même, c'est seulement qu'on en a quelquefois abusé. Le personnel de l'entretien peut se laisser aller à tirer parti d'un rail dont le champignon supérieur est déformé et affaibli outre mesure ; on a alors des inclinaisons déréglées, des rails mal assujettis,

(*) On a déjà retourné plus de 4.000 rails entre Lyon et Châlon.

des ruptures même, en un mot des inconvénients de tout genre. Il arrive quelquefois alors que la réaction s'opère, et qu'on proscrit l'opération elle-même, au lieu de chercher simplement à en régler l'usage. C'est ce qui est arrivé au chemin du Taunus (de Wiesbaden à Francfort); beaucoup de rails étaient gravement détériorés par un service de quinze ans. On essaya d'en tirer parti en les retournant et appliquant des éclisses aux joints; mais de nombreuses ruptures eurent lieu pendant l'hiver de 1853. Vérification faite, il se trouva que tous les rails brisés étaient des rails retournés. — Sans entrer pour le moment dans la question du changement de l'état moléculaire du fer, il est certain qu'on n'avait nullement besoin de faire intervenir cette cause pour expliquer les ruptures observées. Outre la profonde altération du champignon supérieur, ces rails portaient à la partie inférieure l'empreinte très-marquée de chaque coussinet. On peut compter sur l'action des bandages pour effacer peu à peu ces irrégularités, quand elles ne sont pas trop prononcées, mais ce n'était pas le cas au chemin du Taunus; et la profondeur des impressions était par elle-même une cause de rupture très-grave, par les chocs qu'elle entraînait.

Utilité incontestable de cette propriété quand on n'en abuse pas.

188. Appliqué avec réserve, le retournement est irréprochable; il faut seulement en exclure rigoureusement non-seulement les rails dont le champignon supérieur est trop avarié, mais aussi ceux dont le champignon inférieur n'est pas exempt lui-même d'altérations locales assez graves, par suite du martelage des coussinets.

Le retournement est donc, sans contredit, une propriété très-utile du rail symétrique. On comprend qu'on y attache beaucoup d'importance et même, si on veut, qu'on aille jusqu'à la regarder comme balançant,

et au delà, les avantages de la suppression du coussinet. Mais ce qu'on ne comprend pas, c'est que ceux qui, à tort ou à raison, se laissent toucher par les objections adressées au retournement et renoncent à la forme symétrique, conservent néanmoins le coussinet, comme on l'a fait en Belgique et comme on vient de le faire pour les chemins du Taunus, de Lyon à Méditerranée, de Mulhouse, de Rhône-et-Loire, Victor-Emmanuel, etc.

Inconvénients des coussinets.

Inconvénients du coussinet.

189. Les coussinets forment un article de dépense important. Au prix actuel, il s'agit de près de 10.000 fr. par kilomètre de double voie. L'inutilité de cette dépense serait déjà un argument bien suffisant, mais elle n'est pas le seul. Les coussinets sont fragiles; un simple déraillement partiel suffit souvent pour les briser par centaines; ils peuvent par cela même déterminer des ruptures d'attelage et transformer en un accident grave un fait qui, sans eux, serait inoffensif. Enfin, le mode de fixation du rail est en lui-même médiocrement sûr; l'enlèvement d'un coin de joint peut suffire pour causer de véritables désastres. L'application, chaque jour plus répandue de la consolidation des joints détruit, il est vrai, ce dernier grief, mais en constituant cependant (239) un argument de plus en faveur du rail à base plate.

Inutilité du coin comme intermédiaire compressible.

190. Si l'expérience n'avait pas prononcé, on pourrait voir dans les gros coins en bois qu'exigent les rails à champignons, un élément essentiel de la bonté de la voie, et tenir à opposer un corps compressible aux efforts appliqués aux rails par les mentonnets des roues; mais ce qu'on peut affirmer aujourd'hui, c'est que si cette interposition est en effet nécessaire, c'est dans l'intérêt du coussinet lui-même, pour protéger la joue exté-

rieure (*), et nullement par un autre motif. Car on n'a compromis, en écartant du même coup le corps fragile et le corps compressible, ni la liaison des autres éléments de la voie, ni la douceur de la locomotion. Si la compressibilité des coins n'est pas un argument sérieux, il est clair que les graves inconvénients de cet accessoire et ceux du coussinet ne sont rachetés par aucun avantage ; car, sauf la présence du coin, le système à coussinets et le système américain reviennent, en somme, exactement au même; le pied du rail s'attachant ou pouvant s'attacher sur ses supports, exactement comme son équivalent, la semelle du coussinet. Il n'y a qu'une seule différence : c'est qu'avec le coussinet les deux attaches s'opposent au glissement transversal du rail, tandis que pour le rail sans coussinet l'attache extérieure subit seule cet effort; mais il est facile, pour peu qu'on y tienne, de rétablir à très-peu de frais la solidarité des attaches; solidarité plutôt apparente que réelle, d'ailleurs, en ce qui concerne la simultanéité de leur résistance (213).

La moindre stabilité *théorique* du rail américain est indifférente.

191. Quant à la tendance du rail au renversement, il est certain que si on voulait donner au rail à large base la même stabilité *théorique* qu'au rail serré dans des coussinets, c'est-à-dire conserver le même rapport entre la demi-largeur et la hauteur totale, on se trouverait entraîné à distribuer le métal d'une manière très-peu favorable à la résistance aux efforts verticaux. Mais les considérations d'après lesquelles on fixe le rapport dont il s'agit pour le rail à coussinet, sont complétement étrangères à la stabilité proprement dite ; la largeur du creux du coussinet, surtout pour le rail symétrique, l'épaisseur à la base des nervures qui consolident les joues, le diamètre des trous de cheville et l'épaisseur à donner à leur pourtour, conduisent pour la semelle à une largeur totale bien plus grande que celle qu'exigerait la stabilité.

(*) Il ne paraît même pas que les ruptures de joues de coussinets fussent plus fréquentes, soit sur les voies à coins en bois placés à l'intérieur, soit sur celles où le rail, à simple champignon, était serré par une clavette.

La longueur de la semelle du coussinet pourrait être réduite.

192. Il n'y a même aucune utilité à prolonger, comme on le fait souvent, la semelle au delà des nervures, uniquement pour avoir des trous complets. On pourrait parfaitement supprimer à chaque bout la partie extérieure à l'axe du trou, ce qui réduirait celui-ci à une encoche; on allégerait sensiblement le coussinet, sans l'affaiblir et sans diminuer la stabilité. On serait peut-être retenu, il est vrai, par la crainte de répartir la pression sur une surface trop restreinte; considération d'une certaine gravité, en effet, à cause du défaut très-fréquent de contact entre le rail et la semelle, défaut qui est une des plus graves imperfections du système.

193. L'inutilité complète d'un rapport aussi grand entre les bras du levier de stabilité et de renversement, est établie d'une manière autrement concluante que l'évaluation fort incertaine des efforts horizontaux, c'est-à-dire par l'observation même des voies à rails américains. On n'a jamais remarqué, même avec les rails dans lesquel ce rapport est le plus défavorable (204), que les attaches qui fixent les bords des patins fussent plus sujettes à s'arracher que celles qui fixent la semelle du coussinet. Le rail possède donc par lui-même, malgré le rapport plus grand de la hauteur à la demi-largeur de sa base, une stabilité suffisante pour que la résistance longitudinale des attaches intérieures ne soit jamais mise gravement en jeu; on comprend en effet qu'elle ne puisse l'être, si ce n'est pendant la durée très-courte des instants où une roue extrême se trouve soustraite à sa charge normale par suite des oscillations de la machine. La résistance à l'arrachement

intervient nécessairement alors, qu'il y ait ou non des coussinets; c'est seulement une différence du plus au moins. Si d'ailleurs une roue n'exerçant qu'une pression verticale accidentellement très-faible, tend par cela même à renverser le rail, elle tend aussi immédiatement à empêcher ce mouvement, qui ne peut s'effectuer sans que la roue se soulève. Je reviendrai, du reste, plus bas (209) sur la disposition des attaches.

194. Le profil à champignons inégaux pourrait être motivé si en répartissant le métal de la manière la plus favorable à la résistance transversale, on était conduit à donner au pied une section plus faible que celle de la tête et incapable d'assurer, par son aplatissement, la stabilité du rail. Mais si la répartition égale, jointe à un simple aplatissement du pied, réalise à la fois le maximum de résistance, et une stabilité complète, il est impossible de justifier une forme qui entraîne des conséquences telles que la réduction considérable de la résistance et surtout la nécessité du coussinet.

Comparaison des rails à champignons égaux, et à champignons inégaux.

195. Si on n'envisage que la question restreinte de la valeur relative des deux formes à coussinet, symétrique et non symétrique, la préférence généralement donnée à la première, surtout en France, paraît très-fondée. D'une part, elle est plus favorable à la résistance; de l'autre, il semble incontestable que le métal doit être aussi bien utilisé, au point de vue de l'usure, si ce n'est mieux, avec deux surfaces de roulement qu'avec une seule, malgré les conditions de résistance meilleures, à certains égards, dans lesquelles celle-ci est placée, et malgré les restrictions indiquées (188) dans l'usage du retournement. Le choix entre ces deux formes ne paraît donc pas devoir être douteux, quelle que soit l'autorité des suffrages récemment acquis au rail à petit champignon (188). Mais peu importe l'ordre dans lequel ces deux types doivent être classés, si l'un et l'autre sont décidément inférieurs au rail à large base.

Conséquences de la comparaison des trois types.

196. Or, on ne peut contester à celui-ci : une économie d'établissement considérable; une résistance à la rupture au moins égale, ou plus grande à coup sûr, suivant qu'on prend pour terme de comparaison le rail symétrique ou le rail à champignons inégaux; une sécurité plus complète; et une stabilité pratique équivalente à celle du rail à coussinets. Il n'y a qu'un point sur lequel on ne puisse se prononcer avec certitude : la durée du service.

Durée peut-être un peu plus grande du rail symétrique.

Le champignon du rail américain devant naturellement être identique avec ceux du rail symétrique de même poids, on peut soutenir, non sans apparence de raison, que le second fera un service plus prolongé que le premier, puisque celui-ci devra être remplacé quand il suffira de retourner l'autre. En admettant cet avantage, il ne saurait entrer en balance, même sous le rapport purement économique, avec ceux que possède le rail américain. Peut-être d'ailleurs est-il moindre qu'il ne semble au premier abord; car le champignon inférieur du rail symétrique se dégrade aussi, à cause de la dureté de ses supports immédiats et de son application souvent très-imparfaite sur eux; sans compter que l'usure du champignon supérieur est sans doute, par cela même, plus rapide que pour l'autre type.

Influence fâcheuse d'un essai insuffisant.

197. Dans l'esprit des ingénieurs qui auraient pu être tentés de l'appliquer en France, le rail américain est resté sous le coup d'un essai tenté, il y a plusieurs années, au chemin de Saint-Germain. On ne comprend guère qu'une application prolongée, faite peu à peu sur une immense échelle, avec un succès si facile à constater,

n'ait pu détruire l'impression produite par un essai isolé, incomplet, et insignifiant aujourd'hui par le seul fait de l'ancienneté de sa date. C'est cependant ce qui est arrivé jusqu'à présent; des préventions fondées sur un argument si peu valable ont conspiré avec l'habitude, et avec une espèce d'indifférence systématique à l'égard des chemins de fer allemands, regardés chez nous en quelque sorte comme des voies ferrées d'un ordre inférieur, calquées sur celles du Nouveau-Monde.

C'est un préjugé, injuste en lui-même, fâcheux par ses conséquences. Les voies de la Prusse, du Hanovre, etc., peuvent être citées parmi les meilleures qui existent. Leur excellent état tient sans doute en partie à des causes locales, au nombreux personnel d'entretien, à l'activité modérée du trafic; mais le principe même de leur construction y entre certainement pour une grande part. C'est ce que l'expérience prouvera très-probablement aux ingénieurs qui ne reculeront pas devant les petites difficultés inséparables d'un changement dans le mode de construction, et par suite dans les méthodes d'entretien.

L'avantage de la réduction de la longueur des portées, par suite de la suppression des coussinets, n'est qu'apparent.

198. On attribue quelquefois au rail américain un avantage qui n'est rien moins que réel. C'est de réduire, toutes choses égales d'ailleurs, la longueur effective des portées : le rail s'applique en effet sur la traverse dans toute sa largeur, mais on n'est nullement fondé pour cela à considérer la portée comme réduite à l'écartement dans œuvre des supports. Ce serait attribuer à ceux-ci une stabilité latérale qu'ils sont loin de posséder; ils s'inclinent vers la charge, et cet effet doit même être plus prononcé dans ce système que pour les traverses sabottées, auxquelles la charge est toujours appliquée à peu près dans le plan moyen, surtout avec le coussinet à semelle convexe. On devait donc, jusqu'à preuve du contraire, voir dans le mouvement alternatif de la traverse autour de son axe, une cause toute spéciale de dérèglement de la voie, et tout au moins une charge pour l'entretien. L'expérience indique

que ces effets n'ont pas la gravité qu'on pouvait leur supposer; mais tout ce qu'on peut dire, c'est qu'ils ne constituent pas une objection contre le rail américain, et on ne peut songer à voir dans la plus grande longueur de sa portée sur la traverse un nouvel argument en sa faveur.

199. Rappelons en terminant cette comparaison, — car en pareille matière c'est toujours à l'observation directe qu'il faut en revenir, — que si le rail à deux champignons est aujourd'hui délaissé en Allemagne, c'est à bon escient. Le rail symétrique a été expérimenté largement sur un grand nombre de lignes; le rail à champignons inégaux l'a été lui-même sur les chemins de Dusseldorf à Elberfeld, de Berlin à Potsdam, de Westphalie, etc.... L'un et l'autre disparaissent rapidement et font place au rail américain; et c'est en ce moment que le second est adopté en France pour quelques lignes importantes, qui, à l'unanimité des chemins allemands, ne peuvent guère opposer que l'exemple du chemin du Taunus.

Sans insister davantage sur la supériorité amplement démontrée, selon moi, du rail américain, je passe à l'examen des proportions qu'il convient de lui donner.

§ II. — DES PROPORTIONS DU RAIL A LARGE BASE.

Proportions à donner au rail à large base.

200. Pour régler les proportions du rail à coussinet, on donne aux deux champignons, des sections et un écartement appropriés au poids du matériel roulant; et il suffit ensuite de donner au corps une épaisseur assez grande pour assurer la solidarité théorique. La roideur horizontale s'ensuit, d'autant plus que le rail est soutenu par les joues des coussinets. Quant à la stabilité de rotation, on n'a pas non plus à s'en préoccuper, parce qu'elle est largement assurée, malgré l'épaisseur considérable de la semelle du coussinet, par la grande largeur qu'elle exige ou du moins qu'on lui donne.

Il n'en est pas de même pour le rail américain; les aires sensiblement égales du champignon et du pied, ainsi que la largeur de celui-ci, étant données, il faut adopter pour le corps une épaisseur assez grande et une hauteur assez limitée pour ne compromettre ni la solidarité des deux renflements, ni la stabilité du rail. Les expériences citées (185) prouvent que le premier risque est fort lointain; quant au second point, c'est seulement par tâtonnement qu'on peut fixer la limite de hauteur à laquelle il convient de s'arrêter, pour une largeur donnée de la base.

Elles doivent varier avec le tracé et les entr'axes du matériel rigide.

201. Ce tâtonnement se poursuit depuis plusieurs années en Allemagne. Il est évident, d'ailleurs, que le rapport dont il s'agit ne peut être invariable. S'il y a une vérité élémentaire, quoique souvent méconnue dans la pratique, c'est que tous les éléments mécaniques d'un chemin de fer ont entre eux des relations étroites et doivent être déterminés corrélativement. S'il est évident que le poids des rails doit dépendre du poids des machines et de la vitesse; le profil des bandages, les épaisseurs relatives de la jante et du mentonnet, du tracé en plan,

et de l'écartement des essieux rigides; il n'est pas moins certain que le rapport de la hauteur totale du rail à la largeur de sa base doit dépendre aussi des deux derniers éléments. La surélévation fait équilibre à la force centrifuge; mais les courbes n'en imposent pas moins aux rails des efforts horizontaux très-considérables, par suite de l'inscription forcée des véhicules à essieux parallèles.

La relation dont il s'agit est, du reste, nettement accusée sur les chemins allemands. En avançant du nord au sud, on remarque, particulièrement sur les lignes récemment construites, que les profils élancés dominent d'abord, et que les rails deviennent ensuite de plus bas en plus bas pour passer enfin à une forme décidément *ramassée*.

On peut citer, comme placés aux deux extrémités de l'échelle, le rail (nouveau modèle) du chemin de Cologne à Minden, et le rail récemment adopté par M. Etzel pour le chemin central de la Suisse (Pl. III, *fig.* 6) ou celui du Semring (*fig.* 10). Cette réduction graduelle de la hauteur est la conséquence naturelle du tracé, c'est-à-dire de la configuration du sol : plat vers le nord, fortement accidenté dans le sud. Peut-être aussi ce fait tient-il en partie à ce que, en matière de chemins de fer, c'est du nord au sud que le progrès marche en Allemagne. On voit par exemple, par le tracé du premier rail à large base du chemin de Leipzig à Dresde (*fig.* 6), combien on est loin aujourd'hui, dans le nord de l'Allemagne, des proportions primitivement adoptées.

Motifs qui limitent la largeur du pied.

202. La largeur du pied a été, jusqu'à présent, limitée surtout par des considérations de fabrication. Son refroidissement de plus en plus rapide, à mesure qu'il s'amincit en passant par les cannelures des cylindres, est une source de difficultés sérieuses; aussi les usines

ne sont-elles pas arrivées sans peine à obtenir des rails à bords inférieurs bien sains, sans criques ni déchirures. Si du reste on tenait à faire disparaître, par l'élargissement plus prononcé du pied, l'infériorité purement théorique du rail américain sous le rapport de la stabilité, il faudrait, indépendamment de la question de fabrication, augmenter la quantité de métal attribuée au pied; car il y a évidemment un minimum d'épaisseur au-dessous duquel les bords du pied cesseraient de fléchir solidairement avec le reste de la section.

C'est effectivement ce que M. Weishaupt a constaté; dans la position directe (Pl. V, *fig.* 5), la section transversale du pied finit par devenir convexe vers le bas, parce que la flexion de ses bords est en retard sur celle du reste de la section. Dans la position inverse, le pied devient concave vers le bas (*fig.* 6 et 7), parce que ses bords, n'étant pas seutenus par le corps, cèdent, pour leur compte, à l'action immédiate de la charge, et fléchissent plus que le corps, au lieu de fléchir moins, comme dans le premier cas. Cette courbure du pied (jointe à une autre déformation de la section transversale sur laquelle je reviendrai plus tard) ne s'est manifestée, il est vrai, d'une manière sensible que sous des charges très-considérables, et pour des rails fabriqués avec des fers à nerf et ductiles. Mais comme c'est précisément cette nature de fer qu'on recherche souvent pour le pied, il faut se garder de compromettre, par son amincissement excessif, la solidarité de flexion, et par suite la résistance transversale.

Le même motif doit imposer aussi une certaine réserve en ce qui concerne la réduction de l'épaisseur du corps. Cette épaisseur était de 16 millimètres dans les rails de l'Est, expérimentés par M. Weishaupt. Il y aurait, selon lui, avantage à la réduire à 13 millimètres (tout en allongeant un peu le corps) et à répartir entre la tête et le pied l'excédant de métal; mais une réduction admissible pour des fers durs pourrait avoir des inconvénients pour des fers mous; et il semble difficile d'assigner au corps une épaisseur indépendante de la nature du fer, pour laquelle on n'a pas toujours le choix.

Modifications successives du rail du chemin de Cologne à Minden.

203. Le profil du rail a été depuis plusieurs années l'objet d'une discussion approfondie et constamment guidée par l'observation, de la part des ingénieurs d'une ligne qui passe, à bon droit, pour une des mieux exploitées du continent, celle de Cologne à Minden. Ce chemin en est aujourd'hui à son troisième profil de rail (Pl. III, *fig.* 1, 2, 3); et ce qu'il y a de remarquable, c'est que le dernier, loin d'avoir, comme c'est presque toujours le cas, pour caractère essentiel une augmentation de poids, est au contraire notablement plus léger que celui qu'il remplace, quoique le nombre des traverses soit resté le même.

	Hauteur.	Largeur du pied.	Rapport de la hauteur à la demi-largeur	Épaisseur du corps.	Largeur du champignon.	Poids du mètre courant.
	cent.	cent.		cent.	cent.	kilogr.
Cologne à Minden. 1er type.	9,55	10,07	1,89	1,63	5,45	28.31
Cologne à Minden. 2e . . .	11,09	9,58	2,31	1,96	6,08	35.76
Cologne à Minden. 3e . . .	12,40	9,14	2,71	1,41	5,87	32,40
Est prussien.	11,75	10,44	2,25	1,63	5,06	32,78

On voit que les ingénieurs du chemin de Minden n'ont pas craint de faire marcher de front: l'augmentation de la hauteur, la réduction de largeur du pied, celle de l'épaisseur du corps; et en somme, pour le troisième type, celle du poids. Les expériences qui ont précédé ces transformations successives méritaient sans

doute le reproche inévitable de ne reproduire que fort incomplétement les conditions du service des rails; mais c'est moins dans les résultats des expériences peu prolongées d'ailleurs auxquelles ils se sont livrés, que dans l'observation attentive et prolongée de leur voie, que les ingénieurs dont il s'agit ont puisé les éléments de ces transformations, et la conviction de leur succès, conviction parfaitement justifiée jusqu'à ce jour par les faits.

M. Weishaupt a proposé comme conclusion de ses recherches les deux profils suivants (Pl. IV, *fig.* 2, *a*, *a'*), que je cite, non comme des modèles de proportions applicables à tous les cas, mais comme des exemples d'une répartition probablement convenable pour les chemins à grandes courbes.

	Hauteur.	LARGEUR du pied.	RAPPORT de la hauteur à la 1/2 largeur.	LARGEUR du champignon.	ÉPAISSEUR du corps.	POIDS du mètre courant.
	cent.	cent.		cent.	cent.	kil
N° 1.	11,80	9	2,62	5,6	1,3	»
N° 2.	13,10	9	2,91	5,6	1,5	33,15

Ces profils, établis en partant de l'égalité des résistances élémentaires, ne donnent cependant pas de part et d'autre de l'axe horizontal passant par le centre de gravité, des moments d'inertie égaux. Il y a une différence de 0,1 environ en faveur de la partie supérieure, différence destinée à composer d'avance l'usure du champignon. Le rapport des aires est à très-peu près le même que celui des moments.

204. Le rapport 2,91 de la hauteur à la demi-largeur peut sembler et est peut-être exagéré; mais ces exemples prouvent du moins combien les hommes compétents se préoccupent peu d'une des principales objections auxquelles le rail américain est en butte, — la tendance au renversement. La détermination du profil doit d'ailleurs être discutée dans chaque cas, en tenant

compte de tous les éléments qui lui sont propres. Cette discussion, toujours nécessaire, l'est plus encore pour le rail américain que pour le rail à champignons, qui n'a pas à satisfaire par lui-même à des conditions aussi multipliées. Il serait au surplus fort inutile de reproduire ici de nombreuses formes de rails allemands; il suffit de faire ressortir la tendance actuelle, et ses motifs. Il est d'ailleurs très-possible que ces formes, même les plus récentes, pèchent en quelque point : il est difficile, par exemple, d'admettre que le rail si élancé de Cologne à Minden, et le rail si trapu de Suisse, soient l'un et l'autre parfaitement motivés par la nature des choses; peut-être a-t-on attaché une importance trop exclusive à la résistance verticale, dans un cas, à la résistance horizontale et à la stabilité de rotation dans l'autre. Dans l'état actuel de la question, le rail n° 1 de M. Weishaupt (203) paraît être celui dont les proportions pourraient être adoptées avec le plus de confiance pour les chemins à grandes courbes. Rien n'indique même jusqu'ici qu'on doive regretter la hardiesse, en apparence exagérée, du troisième type de la ligne de Minden, sur laquelle la vitesse est cependant aussi grande que chez nous; mais il est prudent de s'arrêter à une forme un peu moins élancée, surtout quand la grande activité du trafic ne permet guère, quelle que soit la vigilance de l'entretien, d'appliquer les réparations aussi à propos que sur les lignes à trafic médiocre.

Du bombement.

Bombement du champignon.

205. Le bombement est aujourd'hui général en Allemagne, comme presque partout, mais on ne l'a nulle part poussé aussi loin que sur quelques chemins anglais (Pl. IV, *fig.* 9); le rayon ne descend presque jamais au-dessous de 0^m15, et jamais au-dessous de

$0^m,13$; on craindrait, en allant au delà, d'accélérer beaucoup l'usure des bandages à la gorge.

Inutilité de la reduction du rayon moyen.

Il semble du reste que rien ne justifie l'importance qu'on a souvent attachée dans ces derniers temps à la petitesse du rayon moyen du champignon. Si un bombement prononcé est utile, c'est pour réduire la portée du bandage à une zone assez étroite de la région moyenne du champignon, éliminer ainsi les glissements que produirait la conicité si cette surface était plus large, et surtout pour soustraire à la pression les parties en porte-à-faux. Cette seconde condition, surtout, doit être remplie, non-seulement quand les bandages sont neufs, mais aussi quand leur profil est déjà un peu altéré, tant par l'usure proprement dite, que par le refoulement du métal vers l'extérieur; mais il n'est nullement nécessaire pour cela d'augmenter la courbure de la région moyenne du champignon. On peut au contraire la faire tout à fait plate, pourvu qu'elle ne soit pas trop large, et que la courbure des surfaces avec lesquelles elle se raccorde soit assez prononcée; ce qu'il faut, en un mot, c'est que les bords *fuyent* rapidement.

206. Voici, par exemple, les éléments auxquels on s'est arrêté pour deux rails nouvellement adoptés :

1° *Rail de la Méditerranée et de Rhône-et-Loire* (à champignons inégaux). Une tangente de $0^m,01$ se raccorde de chaque côté avec une demi-anse de panier dont les rayons successifs sont $0^m,0715$, $0^m,016$ et $0,012$.

2° *Nouveau rail d'Orléans* (symétrique). Un arc de $0^m,091$ de rayon, sous-tendant un angle de 30° (corde, $0^m,046$), se raccorde de chaque côté avec un arc de $0^m,009$ de rayon. La flèche d'un arc de $0^m,091$ de rayon et $0^m,01$ de longueur est à peu près négligeable ($0^{mill.},137$), surtout quand il s'agit de formes pour lesquelles on ne peut prétendre à une précision mathématique; et il suffit de superposer ces deux profils (Pl. IV, *fig.* 1) pour s'assurer que, quand la coïncidence est établie pour la région moyenne, elle a lieu aussi pour les bords; de sorte que, dans les deux rails, les parties en porte à-faux se dérobent également à l'action des bandages. Le profil 1° est donc préférable à l'autre, car il répartit les pressions sans cependant exagérer la largeur de la portée, et tout en ménageant les parties dont la fonction spéciale est de constituer la résistance transversale du rail. Si le rayon moyen s'abaisse, par exemple, jusqu'à $0^m,06$ et au-dessous, la flèche s'élève à $0^{mill.},21$; on ne protége alors les bords du rail qu'en surchargeant la région moyenne par une concentration excessive des pressions; concentration qui n'est nullement nécessaire pour dérober les bords à l'action directe des bandages, et qui doit même conduire bientôt à un résultat tout opposé, en accélérant l'usure ou pour mieux dire l'écrasement de la région intermédiaire.

207. Il suffit, du reste, d'observer l'irrégularité des altérations qu'éprouve bientôt le profil des champignons, même dans les rails de très-bonne qualité, pour être convaincu de l'insignifiance de plusieurs détails dont on se préoccupe souvent. La détermination du meilleur tracé théorique est un problème oiseux; il n'y a qu'une seule condition vraiment essentielle, c'est de combiner une largeur de contact et une flèche du champignon suffisantes. Si elle n'est pas remplie, les bandages ne tardent pas, malgré leur chanfrein de fabrication, à porter sur le bord extérieur des champignons, dont la destruction est alors bien plus rapide que celle du bord intérieur, malgré l'action des mentonnets; anomalie apparente qui s'explique à la fois par le refoulement déjà cité (205), et par la situation bien plus dé-

favorable du bord extérieur relativement à la direction des efforts, et qu'il est facile d'observer sur les rails dont la flèche de bombement est trop faible, quels que soient les détails de leur tracé.

Inconvénient d'une inclinaison plus grande que la conicité des bandages.

208. Le même effet pourrait aussi résulter, avec des rails trop plats, d'un léger excès d'inclinaison; considération dont il serait bon de tenir compte dans l'établissement de la voie sur les chemins à tracé très-contourné et par suite à roues très-coniques. Si le bombement n'était pas suffisant, la circulation du matériel appartenant aux chemins à courbes de rayons plus grands serait très-nuisible pour les rails à cause de l'excès de leur inclinaison sur la conicité des bandages provenant des autres lignes; peut-être conviendrait-il alors de ne donner au rail qu'une inclinaison un peu inférieure à la conicité, car il faut s'attacher surtout à empêcher les bandages de porter sur le bord extérieur.

Ce désaccord, entre l'inclinaison et la conicité, existe déjà partiellement au Semring. La conicité des machines spécialement affectées au service de cette section, est 1/7 à cause de la roideur des courbes, tandis qu'elle est seulement 1/10 pour les wagons, qui circulent sur tout le réseau. C'est, comme il convenait, sur la plus petite que l'inclinaison des rails a été réglée : elle est de 1/10, là comme sur toute la ligne du sud.

La forme du champignon est peu importante, et la rapide destruction des rails inévitable avec les machines qu'on introduit maintenant sur plusieurs lignes.

Au reste, ni la forme du champignon ni même le poids des rails ne pourront arrêter leur destruction si on persiste à exagérer, comme on le fait sur plusieurs lignes, le poids par essieu des machines à marchandises. Sous des charges de 7 à 8.000 kil. par roue, le métal se désorganise et s'écrase; effet d'autant plus prononcé, que la petitesse du rayon de la roue et la rigidité du rail très-lourd réduisent la surface sur laquelle se concentre cette énorme pression.

Encore ne serait-ce que demi-mal si l'on en était quitte pour l'exagération des charges; mais à la pression excessive des jantes viendra s'ajouter l'action destructive des glissements continuels qu'entraînera l'accouplement de quatre, cinq et jusqu'à six paires de roues, pour lesquelles l'égalité de tous les

diamètres sera chimérique, à un instant près : celui où la machine sortira des ateliers!

En admettant que des moteurs ayant 180 ou 200^{m2} de surface de chauffe soient véritablement nécessaires, et qu'il faille opter entre l'attelage régulier de deux machines ordinaires, ou l'emploi d'une locomotive deux fois plus puissante, on ne tient, dans la comparaison des deux systèmes, aucun compte de la voie, considérée comme désintéressée dans la question. S'il y a une hypothèse gratuite, pour ne pas dire plus, c'est à coup sûr celle là : si trois paires de roues assujetties à prendre constamment les mêmes vitesses, angulaire et de translation, malgré de sensibles inégalités de diamètres, constituent déjà un puissant agent de destruction, que sera-ce quand la charge et surtout le nombre des roues augmenteront? On aurait pour but la destruction des rails, qu'on ne s'y prendrait pas autrement.

Si l'on avait tenu compte de cette influence de la solidarité des roues couplées sur la désorganisation des rails, et surtout de la progression nécessairement très-rapide suivant laquelle cette influence croît avec le nombre des roues, si on lui avait fait une part même très-faible, on n'aurait pas songé à invoquer, en faveur du moteur unique, la raison d'économie. L'économie n'est pas (on le sait aujourd'hui) dans l'acquisition; personne ne prétendra, sans doute, qu'elle se trouve dans l'entretien; elle se trouve dans ce seul fait : la suppression d'un mécanicien et d'un chauffeur. Voilà l'unique avantage à opposer à l'exagération des causes de destruction qui agissent sur les rails, sans parler des inconvénients propres au moteur lui-même (*).

Et d'ailleurs, cet avantage, il est facile de l'obtenir avec deux machines. Il suffit de les atteler *dos à dos*, comme on le fait sur le chemin de Turin à Gênes, pour le service de la rampe de Giovi (0.035), en reportant l'approvisionnement d'eau et de coke sur les flancs des deux machines et sous les chaudières (**). On ménage ainsi la voie autant que possible, parce que les roues couplées sont partagées en deux groupes indépendants, dans chacun desquels toutes les roues sont d'ailleurs également chargées.

(*) Voyez : *Des locomotives très-puissantes et à petite vitesse*, par M. Couche.

(**) La même disposition a été adoptée pour les machines en

Les partisans du moteur unique n'ont, en somme, jamais produit d'arguments décisifs à l'appui de cette solution; elle n'a qu'un mérite, celui de la difficulté vaincue : et que d'objections elle soulève! Ce n'est pas à dire que l'autre solution en soit complétement exempte, mais leur gravité est incomparablement moindre. C'est seulement à grande vitesse que la conduite d'une locomotive est une opération difficile et délicate; un mécanicien et un chauffeur conduiront plus facilement deux machines accouplées, à 30 kil., qu'une seule à 70.

Avant de songer à imposer un mouvement commun à dix ou douze roues, supportant des charges aussi considérables et très-différentes, il faudrait commencer par éliminer à tout prix ou au moins par atténuer l'usure rapide et inégale des bandages, et les glissements qui sont à la fois la cause et l'effet de cette usure; il faudrait faire entrer dans la pratique pour la fabrication des bandages (en attendant que cela soit possible pour les rails eux-mêmes) l'emploi de l'acier puddlé, ou mieux de l'acier fondu, dont l'usure est à la fois fort lente à cause de sa dureté, et, ce qui est plus précieux encore, parfaitement uniforme à cause de son homogénéité. Il s'agit là d'un intérêt grave pour l'entretien des machines, et capital pour l'entretien de la voie.

---

construction à Seraing, et destinées au chemin Victor-Emmanuel, qui présente des rampes variables de 15 à 30 millièmes. Ces machines sont à quatre roues; chacune d'elles a 79^{m2} de surface de chauffe, et porte un approvisionnement de 3^{m3},5 d'eau et 20 hectolitres de coke. M. E. Mayer, ingénieur du matériel, a introduit dans l'attelage quelques perfectionnements qui seront indiqués plus tard.

§ III. — MODES D'ATTACHE DU RAIL SUR LES TRAVERSES.

Attaches du rail à large base.

209. Le patin du rail américain pourrait être fixé exactement de la même manière que la semelle du coussinet; seulement, dans ses petits mouvements de dilatation et de contraction, le rail devrait entraîner la traverse, car on ne pourrait pas compter sur l'ovalisation des trous, bientôt oblitérés par la rouille et le gravier. Cet entraînement serait, au reste, sans inconvénients; il doit se présenter souvent aussi avec les coussinets, quand les coins sont fortement serrés.

Mais en appliquant les attaches extérieurement au patin, on a le triple avantage de supprimer les trous, de donner à la résistance longitudinale, dans le cas où elle serait mise en jeu par la tendance au renversement, son bras de levier maximum, et de se réserver une liberté complète pour le mode de répartition des traverses; une encoche doit seulement être ménagée dans le patin, à l'une des extrémités du rail, pour empêcher son déplacement longitudinal.

La fonction essentielle des attaches est de s'opposer au glissement du rail, mais elles doivent aussi : 1° rendre suffisamment laborieux l'enlèvement d'un rail, opération beaucoup trop facile à la malveillance quand il n'est fixé que par les coins; 2° maintenir le patin intimement appliqué contre la traverse et empêcher ainsi le *claquement*, destructeur pour le bois. Ces conditions exigent que les attaches soient pourvues d'une tête saillante et très-solide.

210. On emploie des crampons et des vis à bois.

Crampons.

Les crampons sont toujours unis (non barbelés) et souvent terminés par un biseau normal aux faces latérales de la tête; cette forme est moins sujette que toute autre à faire fendre le bois, parce que l'ouvrier est forcé de placer le tranchant trans-

versalement aux fibres : condition qui serait bien souvent éludée pour les attaches à tête symétrique, telles que les chevilles des coussinets, si on jugeait à propos de les terminer aussi *en fermoir*, pour les enfoncer sans préparation. On a cependant conservé sur quelques nouvelles lignes les crampons à pointe : par exemple, pour la reconstruction du chemin Badois (Pl. III, *fig.* 19).

Le corps, entre la tête et le biseau, est souvent une pyramide renversée, mais à faces très-peu inclinées, formant queue d'hyronde. Les faces intérieures de la tête et du corps, raccordées par un congé arrondi, font un angle obtus, afin que l'une s'applique exactement sur le patin, quand l'autre a été enfoncé verticalement.

Quelquefois cependant l'angle dont il s'agit étant droit, les crampons sont enfoncés obliquement, et convergent (Pl. III, *fig.* 4). Cette disposition est vicieuse sous le rapport de la résistance, soit au glissement, soit au renversement; elle met en jeu la tension de la cheville dans le premier cas, et l'augmente dans le second; elle est d'ailleurs d'une exécution plus difficile; l'insuffisance de l'inclination du crampon serait surtout un défaut grave, car c'est principalement par sa racine que le crochet doit s'appuyer sur le patin, sous peine de danger de rupture.

Vis à bois.

211. Les vis à bois proprements dites, n'ont guère été appliquées qu'aux joints, pour lesquels même elles sont généralement abandonnées.

On a au contraire employé souvent, et on emploie encore, des chevilles à tête polygonale symétrique, transformées par la torsion en vis à bois, à pas très-allongé et peu saillant (Pl. III, *fig.* 16, 17 et 18).

Ce mode a été appliqué, par exemple, aux derniers chemins construits en Bavière. Les vis s'enfoncent comme les crampons, à coups de masse et sans trous percés d'avance. En Hanôvre, cependant, on prescrit de percer des amorces pendant les grandes chaleurs, à cause de la prédisposition des traverses à se fendre. Les vis sont placées verticalement; leur large tête et la tige sont raccordées par un congé profilé exactement suivant le bord du patin (*fig.* 16).

Ces vis ont sur les crampons l'avantage d'une extraction plus

facile. On peut les retirer par un mouvement de rotation, comme si elles avaient été mises en place de même.

Les opinions sont partagées sur la valeur de ces deux modes d'attaches.

212. Les opinions sont partagées en Allemagne sur la valeur relative de ces deux modes d'attache. Les ingénieurs de la nouvelle société des chemins de fer autrichiens, qui ont tout récemment examiné de nouveau la question, ont été conduits à donner la préférence aux crampons, les chevilles tordues étant, suivant eux, plus sujettes à s'ébranler; j'ai entendu par contre, en Bavière, attribuer hautement l'avantage à celles-ci, et cette opinion se répand également en Prusse. Il semble cependant que l'enfoncement d'une vis à coups de masse doit désorganiser le bois, et qu'on ne peut guère compter sur une prise efficace des filets. Il faudrait que la cheville tournât, en pénétrant dans le bois; on m'a souvent affirmé qu'il en était ainsi; j'ai cependant observé fréquemment le contraire. La rotation se produirait sans doute si l'enfoncement était fait avec plus de ménagement. Quoi qu'il en soit, l'opinion dominante paraît être en Prusse, que ces chevilles conviennent pour les essences tendres ou résineuses, et les crampons pour le chêne.

Peut-être y aurait-il quelque avantage à placer : à l'extérieur, des crampons, et à l'intérieur de véritables vis à bois, à noyau conique et à filet saillant, introduites *par rotation* dans des trous de tarière. Les deux systèmes d'attaches subissent des efforts bien distincts; l'un doit résister à la tendance au glissement, l'autre à la tendance au renversement, les efforts sont donc surtout transversaux pour l'un, longitudinaux pour l'autre; et il semblerait naturel que leur constitution respective fût en rapport avec ces conditions différentes. L'expérience paraît avoir démontré que les vis se relâchent plus rapidement que les crampons, sous l'action

des efforts transversaux ; mais il semble, jusqu'à preuve évidente du contraire, difficile d'admettre qu'elles ne soient pas plus propres à résister à l'arrachement.

Obliquité de la ligne des centres.

213. Les attaches intermédiaires ne sont jamais placées symétriquement de part et d'autre du rail. L'obliquité de la ligne des centres n'étant pas limitée comme avec le coussinet, on en profite lorsque la largeur de la traverse le permet.

On a quelquefois (au Semring, par exemple) réuni les deux attaches par une petite plate-bande en tôle. Cette addition est peu coûteuse, mais elle est encore moins utile. Si elle a pour but de rendre les deux attaches solidaires pour résister aux pressions transversales, l'obliquité très-prononcée de la ligne des centres suffit évidemment, abstraction faite des autres motifs (190), pour rendre cet effet illusoire. Si l'on a en vue de protéger la traverse, on méconnaît un des avantages les plus incontestables du rail américain, convenablement fixé. Cette précaution est tout à fait superflue en présence du contact intime établi entre le fer et le bois.

Attaches des joints.

Attaches aux joints.

214. Il y a aux joints une condition toute spéciale ; la tendance à l'arrachement des attaches, crampons ou vis, y est manifeste, et tout autant à l'extérieur qu'à l'intérieur ; c'est que là, en effet, elle résulte non de la tendance du rail à la rotation, mais des vibrations transversales, qui déterminent en outre une destruction beaucoup plus rapide de la portée du rail sur les traverses de joint que sur les autres.

On a donc reconnu généralement la nécessité : 1° de constituer plus solidement les attaches aux joints ; 2° de protéger le bois par une sorte de bouclier métallique.

C'était remédier tant bien que mal aux inconvénients, au lieu de chercher, comme on le fait maintenant, à faire disparaître la cause elle-même, la discontinuité. Les éclisses paraissent faire rentrer les attaches des joints dans les mêmes conditions que les attaches

intermédiaires, et réduire à bien peu de chose l'utilité des moyens indirects. Cependant ceux-ci sont presque toujours employés concurremment avec les éclisses. Il est donc impossible de les passer sous silence.

On vient d'appliquer simultanément les crampons et les vis au renouvellement des voies du chemin de fer badois, renouvellement combiné avec le réduction de la largeur, ramenée de $1^{m},60$ au chiffre ordinaire. Il y a, à chaque joint, quatre crampons et quatre vis. La présence des éclisses semble rendre inutile ce luxe d'attaches ; on s'explique peu d'ailleurs, l'emploi des crampons et des vis tordues, dans des conditions identiques, et la position des dernières, qui passent dans un œil percé dans le patin (Pl. III, *fig.* 20 et 21) au lieu d'être appliquées sur ses bords.

Plaque de joint.

215. Le complément le plus usité consiste dans l'application d'une plaque en fer qui remplit cette triple fonction : elle protége les traverses ; elle rend les quatre attaches solidaires ; elle saisit, entre des épaulements latéraux, les patins des deux rails consécutifs, et rend ainsi beaucoup moins imparfaite la coïncidence de leurs champignons.

Les premières plaques, ordinairement en fonte, portaient deux saillies triangulaires sur lesquelles s'appuyaient les bouts tronqués des patins, et destinées à empêcher l'entraînement longitudinal. On a supprimé partout cette complication, inutile surtout quand l'application des éclisses a fait disparaître, avec le ressaut au joint, la cause même de l'entraînement des rails dans le sens du mouvement des trains.

Sur quelques nouveaux chemins, au Semring entre autres, les plaques donnent l'inclinaison au rail (Pl. III, *fig.* 14). Sur la même section, on a placé aussi, au milieu, une plaque de largeur moindre (*fig.* 15) ; addition qui paraît n'avoir aucune utilité, si ce n'est peut-être celle de fournir un repère de plus pour l'inclinaison et de donner plus de précision au sabottage.

Coussinets rudimentaires placés au joint sur les nouveaux chemins bavarois.

216. Sur les sections récemment construites du chemin Bavarois (Kempten à Lindau, Bamberg à Aschaffenbourg), la plaque de joint est remplacée par deux plaques de fonte tout à fait indépendantes, sortes de coussinets rudimentaires placés côte à côte sur la traverse de joint. Le rail est maintenu, à l'intérieur, par un petit repli du coussinet ; à l'exté-

rieur, par la large tête de la cheville. Cette disposition, combinée avec des éclisses, présente une complication que celles-ci rendaient parfaitement inutile.

Coussinet complet.

217. On a été, sur plusieurs lignes, jusqu'à appliquer au joint un véritable coussinet, nécessairement fort large, avec coin en bois. Cette malencontreuse combinaison des deux systèmes rivaux a été appliquée, à titre d'essai, sur les chemins de Brunswick à Lünebourg, de Hanôvre, de la Hesse-Électorale, de Saarbrück, etc. On a même, sur le chemin du Main au Weser, enchéri encore sur cette complication en ajoutant au coussinet, dans les courbes de très-petit rayon, une sorte d'armature en fer reliant le bord extérieur du rail au bord intérieur du coussinet, et destinée à suppléer le coin en cas de chute, et accessoirement à soulager la joue extérieure du coussinet.

Double coin du chemin de Saarbrück.

218. Au chemin de Saarbrück, on s'est proposé, comme on l'avait déjà fait sur une section de la ligne de Stargard à Posen, de prévenir les conséquences du desserrement et de la chute du coin ordinaire, en lui substituant un coin double, composé de deux parties réunies par un boulon, et formant ainsi queue d'hyronde (Pl. III, *fig.* 3 et 4).

219. L'expérience n'a pas tardé, heureusement, à faire justice de toutes ces complications, et à arrêter les ingénieurs dans la voie fausse où ils s'engageaient. On reconnaît aujourd'hui que le rail américain n'a pas besoin de coussinets, pas plus au joint qu'ailleurs, et qu'en fait de voie surtout, il n'y a de bon que ce qui est simple.

Les vis, ainsi que les crampons qui sont, au joint comme ailleurs, plus usités qu'elles, ou les boulons, moins répandus, traversent ordinairement la plaque et sont placés deux à deux, comme pour les traverses intermédiaires, sur une ligne oblique au rail.

Modifications de la plaque de joint destinées à faire disparaître le ressaut entre les champignons.

220. Quoique le ressaut qui se forme au joint soit beaucoup moins prononcé avec ce mode d'attache que pour les rails à champignons serrés par des coins, il y a longtemps qu'on a cherché en Allemagne à obtenir

une coïncidence plus exacte des bouts. On a commencé par replier la plaque sur les rebords extérieurs des patins en appliquant sur ce repli les têtes des crampons, placés alors en dehors de la plaque (chemin de Berlin à Stettin). Le repli de la plaque a été ensuite remplacé par une plate-bande rapportée, serrée sur les patins par des boulons à écrous supérieurs, remplaçant eux-mêmes les crampons. Ces appendices, sortes d'éclisses horizontales, ont été placés alors des deux côtés; on les a fait tantôt très-courts, fixés par un seul boulon placé exactement dans le joint; tantôt plus longs, avec deux ou même trois boulons de chaque côté. Ces dispositions constituaient déjà un perfectionnement réel; il est inutile de les décrire en détail, mais il convient de les mentionner, ne fût-ce que pour rappeler combien l'étude de l'appropriation du rail américain a été complète et variée, et par quelle longue série d'essais on en arrive aux combinaisons plus pratiques adoptées aujourd'hui.

L'appendice horizontal a été d'ailleurs combiné quelquefois avec l'éclisse, par exemple sur le chemin de Berlin à Francfort (Pl. III, *fig.* 22 et 23). Deux boulons suffisent alors au lieu de quatre.

§ IV. — ÉTABLISSEMENT DE LA CONTINUITÉ AUX JOINTS.

Consolidation des joints.

221. La moindre longueur des portées extrêmes compense le désavantage de leur situation sous le rapport de la résistance transversale, mais elle laisse subsister les inconvénients de l'indépendance des rails consécutifs; l'inclinaison du rail à l'horizon vers l'extrémité libre, et le ressaut au joint, sont seulement atténués; le seul moyen efficace de les éliminer est la solidarité des rails, transformés en une file continue, indéfinie, dont les éléments conservent toutefois le degré de liberté que réclament les variations de température.

La plaque de joint peut remplir cette fonction.

Sans cette dernière condition, la plaque de joint appliquée aux rails américains offrirait un moyen très-satisfaisant de rétablir la continuité; elle fonctionnerait comme un couvre-joint, placé de la manière la plus favorable au rétablissement de la résistance transversale; point également essentiel, que le joint soit ou non en porte-à-faux (223); elle serait, sous ce rapport, bien préférable aux éclisses elles-mêmes. La *fig.* 5, Pl. III, représente un assemblage de ce genre, essayé sur le chemin de l'Est prussien. Il donne de bons joints et possède une grande résistance, à condition que les rails soient jointifs. Dans une expérience faite au moyen de la presse à levier, la rupture a eu lieu sous une charge de 137^{qm}, environ moitié de celle sous laquelle se brisait le rail continu (176). Mais comme il est nécessaire de laisser, au moins de distance en distance, du jeu entre les rails et d'ovaliser les trous des boulons, la plaque cesse alors de remplir le rôle d'un véritable couvre-joint, et l'assemblage perd beaucoup de sa résistance, tant que les sommets des champignons ne viennent pas s'appliquer l'un contre l'autre; les éclisses sont d'ailleurs plus simples, et assurent mieux l'affleurement exact des bords des champignons.

Des éclisses.

Éclisses.

222. L'emploi des éclisses, presque général aujourd'hui en Allemagne, y date déjà de loin : elles ont été appliquées pour la première fois en 1847, sur le chemin de Dusseldorf à Elberfeld.

Quels que soient les détails de construction de l'assemblage des rails, les joints sont toujours, on doit l'admettre, des sections de moindre résistance du système rendu continu. La résistance élastique pourra être tout aussi grande là qu'ailleurs, dans des limites de charges étendues, supérieures à celles des charges ordinaires; la continuité pourra être complétement réalisée sous ce rapport, mais non sous celui de la résistance à la rupture. C'est le cas, du reste, des poutres et en général de tous les systèmes en tôle rivée; ils sont aussi rigides, mais moins solides que s'ils étaient d'une seule pièce. La position du joint relativement aux appuis n'est donc pas indifférente, comme elle le serait si la résistance était uniforme. Examinons d'abord l'influence de cette position.

Résistance comparée des joints, appuyés ou en porte-à-faux.

223. Le joint, section de moindre résistance ne doit pas coïncider avec les sections de rupture, c'est-à-dire avec celles auxquelles correspond, dans l'hypothèse de l'uniformité de constitution du solide, un maximum des efforts moléculaires. Or, la position des sections de rupture dépend essentiellement des conditions dans lesquelles les appuis sont placés.

On est dans l'usage d'admettre, pour les rails, l'encastrement des portées intermédiaires. Avec les éclisses, on doit l'admettre aussi au même titre pour les portées extrêmes.

Il faut donc déterminer la position des sections de rupture, dans un prisme encastré aux deux bouts, et

soumis à l'action d'une charge qui parcourt toute sa longueur.

Détermination de la section de rupture d'une portée, dans l'hypothèse de l'encastrement aux deux bouts.

a étant (Pl. III, *fig.* 26) la longueur du solide, I son moment d'inertie, l une position quelconque de la charge P relativement à l'extrémité A, ρ le rayon de courbure en un point quelconque, ρ_1 sa valeur en B, π la réaction verticale de l'appui en ce point, on a, en négligeant comme on le fait ordinairement, la force centrifuge de la charge et l'inertie du rail.

Entre A et M,

(*a*) $\frac{EI}{\rho} = P(l-x) - \pi(a-x) + \frac{EI}{\rho_1}$, x étant compris entre o et l;

et entre M et B,

(*b*) $\frac{EI}{\rho} = -\pi(a-x) + \frac{EI}{\rho_1}$, x étant compris entre l et a;

d'où on tire facilement $\pi = P\frac{l^2}{a^2}\left(3-\frac{2l}{a}\right)$,

et pour (*a*) :

$$\frac{EI}{\rho} = P\left(l - 2\frac{l^2}{a} + \frac{l^3}{a^2}\right) - Px\left(1 - \frac{3l^2}{a^2} + \frac{2l^3}{a^3}\right).$$

La plus grande valeur numérique de $\frac{1}{\rho}$ correspond à l'une des valeurs extrêmes de x, c'est-à-dire à

$x = o$, qui donne $\frac{1}{\rho'} = \frac{Pl}{EI}\left(1 - \frac{2l}{a} + \frac{l^2}{a^2}\right)$

ou à $x = l$, qui donne $\frac{1}{\rho''} = \frac{-2Pl^2}{EI.a}\left(1 - \frac{2l}{a} + \frac{l^2}{a^2}\right)$;

d'où, abstraction faite du signe, relatif seulement au sens de la courbure, $\frac{1}{\rho'} : \frac{1}{\rho''} :: 1 : \frac{2l}{a}$; et, par suite, R' et R'' désignant les efforts moléculaires développés dans les fibres extrêmes de ces sections supposées égales, $R' : R'' :: \frac{a}{2} : l$.

La section de rupture, de A et M, est donc en A tant que $l < \frac{a}{2}$, et en M quand $l > \frac{a}{2}$. Mais comme la section de rupture du segment MB est alors en B, la section la plus dangereuse est toujours *à l'encastrement le plus voisin de la charge*. Elle passe d'un encastrement à l'autre à l'instant où la charge se trouve au milieu.

l_1 désignant la distance de la charge à l'extrémité la plus

rapprochée, l'effort correspondant $R_1 = \frac{VPl_1}{I}\left(1 - \frac{2l_1}{a} + \frac{l_1^2}{a^2}\right)$ est maximum pour $\frac{l_1}{a} = \frac{1}{3}$, valeur qui convient, puisque l_1 est comprise entre o et $\frac{a}{2}$; et ce maximum est: $R_{max.} = \frac{4}{27}\cdot\frac{VPa}{I}$.

224. *Les sections extrêmes sont donc, dans toutes les positions de la charge, celles qui fatiguent le plus*; (il y a, seulement, égalité entre les efforts développés dans ces sections, et dans celle du milieu, à l'instant où la charge atteint celle-ci); c'est à l'instant où la charge passe au tiers de la longueur que l'effort est maximum, et c'est à l'encastrement le plus voisin qu'il se développe.

Ainsi, quand on pose en principe qu'il y a encastrement, la conséquence devrait être de placer le joint, section de moindre résistance, en porte-à-faux, et non sur un appui, car cette dernière position est théoriquement la plus défavorable de toutes.

Quand on admet l'encastrement sur les appuis, le joint devrait être en porte-à-faux.

C'est parce qu'ils se contentent de considérer une charge appliquée au milieu de la portée, que les praticiens regardent souvent comme indifférent, au point de vue de la fatigue théorique du joint, de le placer soit sur un appui, soit au milieu; l'effort maximum, à égalité de section, est en réalité $\frac{4}{27}\frac{vPa}{I}$ dans un cas, et $\frac{1}{8}\frac{vPa}{I}$ dans l'autre; la différence n'est donc nullement négligeable.

225. Maintenant faut-il en effet renoncer à appuyer le joint sur une traverse?

D'abord on pourrait, avec toute raison, être conduit à donner à la section la plus faible la position la plus désavantageuse au point de vue de la résistance, si cette position est en même temps la plus propre à atténuer les conséquences possibles d'une rupture de l'assemblage.

L'encastrement approché ne se réalise que périodiquement.

D'un autre côté, tout ce qu'on peut dire de l'hypothèse ordinairement admise de l'encastrement, c'est qu'elle se réalise à peu près, mais à son tour, et ni plus ni moins que les autres, plus vraies qu'elle ou moins éloignées de l'être pour certaines manières d'être de l'application des charges. Ainsi, l'encastrement d'une portée aux deux bouts est admissible pendant qu'elle est franchie par les roues du milieu d'une machine; il ne l'est plus que pour un seul bout quand cette portée est franchie par des roues extrêmes, et surtout par des roues extrêmes très-chargées, comme celles d'arrière d'une machine Crampton; peut-être même alors est-on plus près de la vérité en supposant la portée libre aux deux bouts, à cause de la disproportion des charges, dont la symétrie approchée peut seule empêcher l'inclinaison transversale des supports.

Position de la section de rupture : 1° dans le cas de l'encastrement à un seul bout.

Or, 1° dans un solide encastré à un bout, posé à l'autre, et supportant une charge mobile, la section de rupture est à l'encastrement tant que la charge n'a pas dépassé les 0,58 de la longueur; au delà, cette section coïncide constamment avec celle à laquelle la charge est appliquée; mais on trouve facilement que l'effort maximum correspond à la première période, qu'il a lieu à l'instant où la charge passe aux 0,422 de la longueur à partir de la section encastrée, et que sa valeur est :

$$R_{max.} = 0,1924 \frac{VPa}{I}.$$

2° Dans le cas où le solide est posé aux deux bouts.

2° Si on suppose la travée simplement posée aux deux bouts, la section de rupture coïncide constamment avec le point d'application de la charge; l'effort maximum a lieu à l'instant où la charge atteint le milieu, et dès lors, dans cette section elle-même; et sa valeur est :

$$R_{max.} = 0,25 \frac{VPa}{I}.$$

226. Placé en porte-à-faux, le joint ne peut être

qu'au milieu ou à très-peu près, à cause de la longueur des éclisses, presque égale à la longueur très-réduite de la portée (240) : il s'agit donc simplement de comparer les valeurs des efforts maximum développés d'une part sur les appuis, de l'autre au milieu, quand le système passe, sous l'action d'une charge mobile, successivement par les états d'encastrement complet, partiel ou nul, par suite de sa liaison avec les portées contiguës et diversement chargées.

Effort maximum au milieu. 1° Dans l'hypothèse de l'encastrement aux deux bouts.

1° Cherchons la position de la charge à laquelle correspond, dans le cas de l'encastrement aux deux bouts, l'effort maximum des fibres dans la section du milieu.

On a, de A en M,

$$(a') \qquad \frac{EI}{\rho} = P\left(l - \frac{2l^2}{a} + \frac{l^2}{a^2}\right) - Px\left(1 - \frac{3l^2}{a^2} + \frac{2l^3}{a^3}\right),$$

et de M en B

$$(b') \qquad \frac{EI}{\rho} = P\left(-\frac{2l^2}{a} + \frac{l^2}{a^2}\right) - Px\left(-\frac{3l^2}{a^2} + \frac{2l^3}{a^3}\right).$$

Pour $x = \frac{a}{2}$, (a') donne $\frac{EI}{\rho} = P\left(l - \frac{a}{2} - \frac{l^2}{2a}\right)$ et (b') $\frac{EI}{\rho} = -\frac{Pl^2}{2a}$.

C'est la première expression qui convient si le segment AM comprend le milieu, c'est-à-dire si $l =$ au moins $\frac{a}{2}$, et la seconde si $l =$ au plus $\frac{a}{2}$. Or, elles prennent respectivement leur plus grande valeur numérique, l'une pour la plus petite, et l'autre la plus grande des valeurs de l qui leur conviennent, c'est-à-dire pour la limite commune des deux séries de ces valeurs, ou $l = \frac{a}{2}$; et la valeur correspondante de R est :

$$R_{max.} = 0,125 \frac{VPa}{I}.$$

2° Dans l'hypothèse de l'encastrement à un seul bout.

2° On trouve de même que dans le cas de l'encastrement à un seul bout, l'effort maximum au milieu correspond à l'application de la charge en ce point même, et a pour valeur :

$$R_{max.} = \frac{5}{32} \frac{VPa}{I}.$$

3° Dans celle du solide posé aux deux bouts.

3° On sait d'ailleurs que, pour un solide simplement posé aux deux bouts, l'effort maximum au milieu correspond à l'application de la charge en ce point même, et a pour valeur

$$R_{max.} = 0,25 \frac{VPa}{I}.$$

227. Le tableau ci-dessous résume ces résultats :

dans la section	EFFORT MAXIMUM DÉVELOPPÉ DANS LE CAS OU LE SOLIDE EST					
	encastré aux deux bouts.		encastré à un seul bout.		posé aux deux bouts.	
	Position de la charge.	Valeur du maximum.	Position de la charge.	Valeur du maximum.	Position de la charge.	Valeur du maximum.
extrême	au tiers de la longueur.	$R=0,148\frac{VPa}{I}$	au 0,422 de la longueur.	$R=0,1924\frac{VPa}{I}$	quelconque.	$R=0.$
du milieu	au milieu.	$R=0,152\frac{VPa}{I}$	au milieu.	$R=0,156\frac{VPa}{I}$	au milieu.	$R=0,25\frac{VPa}{I}$

Si donc on exclut l'hypothèse de la liberté de la portée aux deux bouts, l'effort des fibres extrêmes atteindra au droit des appuis, $0\,1924\frac{VPa}{I}$, et au milieu, seulement $0,156\frac{VPa}{I}$. Le joint devra donc alors être placé de préférence en porte-à-faux, au moins sous le rapport de la résistance. Si au contraire on admet que la portée se trouve, à un instant donné, sensiblement dans les conditions d'un solide posé aux deux bouts, le joint doit correspondre à un appui, puisque la limite de l'effort maximum est alors $0,1924\frac{VPa}{I}$, au lieu de $0\,25\frac{VPa}{I}$.

La théorie n'est guère applicable aux circonstances dont il s'agit.

228. Tels sont les résultats auxquels conduit la théorie. Il faut, si on l'invoque, ne lui attribuer que ce qu'elle donne effectivement; la considération de l'état statique peut être regardée comme suffisante en elle-même, quand il s'agit plutôt de la comparaison des efforts que de leurs valeurs absolues; mais, à vrai dire, on ne saurait compter beaucoup sur le secours du calcul en semblable matière. Si les déductions de la théorie des solides élastiques sont tous les jours vérifiées par la pratique des constructions proprement dites, c'est que,

là, du moins, outre qu'on n'a pas en général à se préoccuper de l'inertie des masses, les points considérés comme fixes le sont en réalité, à très-peu près; tandis que les appuis des rails possèdent une compressibilité, fort utile sans doute, indispensable même, mais qui met le calcul à peu près en défaut.

Influence de la compressibilité du sol.

Si, du reste, cette compressibilité est précieuse au point de vue des chocs, elle est, d'un autre côté, défavorable à la résistance statique du rail, par le seul fait de la répartition des pressions qui s'opère quand les deux appuis entre lesquels la charge est comprise, viennent à céder un peu. Si, par exemple, on considère quatre appuis seulement, on a pour l'effort moléculaire maximum, sous une charge appliquée au milieu :

1° En supposant que les deux appuis entre lesquels la charge est comprise sont parfaitement inflexibles : $R=\frac{vaP}{4I}$.

2° En supposant que ces deux appuis fléchissent, de sorte que chacun d'eux supporte seulement $\frac{P}{2}-p$, la charge p, variable suivant le degré de compressibilité du ballast et l'élasticité du rail, étant reportée sur l'appui suivant :

$$R'=\frac{va}{2I}\left(\frac{P}{2}+p\right);\quad \text{donc } R'-R=\frac{vap}{2I}.$$

La compressibilité a d'ailleurs pour effet, lors même qu'elle ne s'écarte pas trop de l'uniformité, d'éloigner beaucoup de la réalité l'hypothèse de l'encastrement, à cause de l'inclinaison des éléments de la portée au droit des deux appuis qui cèdent sous la charge comprise entre eux.

Hypothèse trop défavorable qu'on admet souvent.

229. On a été quelquefois jusqu'à admettre que chaque traverse peut se dérober complétement sous la charge; mais une hypothèse aussi défavorable n'est nullement nécessaire; elle ne répond à aucune éventualité réelle, même sur les voies les plus mal entretenues. Si l'on croyait néanmoins devoir l'accepter, la conséquence nécessaire serait de rejeter la position du joint sur

un appui, position la plus défavorable possible, puisque le joint serait alors sujet à devenir, tantôt le milieu, tantôt l'extrémité, c'est-à-dire dans tous les cas la section la plus dangereuse, d'une portée de longueur double.

Tout compte fait, on peut regarder comme à peu près indifférent, au point de vue de la résistance, de placer le joint au milieu ou à l'extrémité d'une portée de longueur donnée; et la seconde position est dès lors préférable, puisque la rupture des éclisses présente alors moins de gravité.

230. Quant au rapport des portées extrêmes et intermédiaires, il doit évidemment dépendre de la constitution de l'assemblage, soit que celui-ci corresponde à un appui, soit qu'il se trouve en porte-à-faux; l'inégale répartition des appuis ne doit plus avoir alors d'autre objet que de compenser l'infériorité de la résistance au joint. Nous reviendrons donc sur ce point (236) après avoir examiné l'assemblage en lui-même.

Dispositions diverses pour l'attache des éclisses.

231. Les éclisses ont été en Allemagne l'objet de nombreux essais, principalement sur les chemins de Hanovre, de Westphalie, etc. Leur fonction essentielle étant d'assurer la coïncidence exacte des extrémités des rails, il est nécessaire de les entretoiser assez près du joint. C'est ainsi qu'on a cru devoir, en Hanovre, remplacer les deux boulons intermédiaires ordinairement employés par un seul, placé au joint même. Cette disposition a même été adoptée pour les nouvelles voies de Hanovre, à la suite d'observations comparatives très-prolongées; elle ne s'est cependant pas répandue au dehors; une expérience faite sur le chemin de Berg, en Prusse, ne lui a pas été favorable, et en Hanovre même, les ingénieurs sont loin d'être unanimes sur ses avantages.

Si l'on suppose l'encastrement sur chaque appui, seulement même comme un état transitoire et périodique, il est peu logique d'affaiblir les éclisses au milieu, c'est-à-dire précisément dans la section de rupture de la portée, supposée partout également résistante. Le trou du boulon n'enlève, il est vrai, que du métal qui travaille peu; mais cet affaiblissement serait plus grave si le boulon du milieu avait, comme cela devrait être, un

diamètre plus fort que les deux extrêmes. Ces boulons ont tous trois $22^{mil.},6$ de diamètre et sont espacés d'axe en axe de $0^{m},157$. Le joint est complété par une plaque de fer de $0^{m},196$ de côté; 4 boulons saisissent la traverse, la plaque et le rail.

Addition de contre-écrous.

232. On a quelquefois, pour empêcher la chute des écrous, ajouté des contre-écrous soit à tous les boulons, soit seulement à ceux ou à celui du milieu. Cette addition est probablement superflue; malgré les vibrations auxquelles ils sont soumis, les écrous ne sont sans doute que trop bien garantis contre tout risque de chute, par la rouille qui ne tarde pas à les souder. C'est plutôt contre les obstacles que cette soudure opposerait au serrage qu'il importe de se mettre en garde, en empêchant le boulon de tourner avec l'écrou. Tel est l'objet de l'éclisse extérieure *à rainure* (Pl. IV, *fig.* 5 et 6) appliquée récemment à la consolidation des voies du chemin du Nord français.

Insuccès de la substitution des rivets aux boulons.

On a essayé à diverses reprises de substituer aux boulons des rivets, mais il paraît que ceux-ci ne tardaient pas à se relâcher.

On ne saurait, du reste, voir dans ce fait en lui-même un fâcheux pronostic pour la durée des ponts en tôle. Le relâchement observé tient sans doute à ce que les rivets étaient surchargés, et rien ne prouve qu'il soit inséparable de ce mode d'assemblage. Cependant quelques essais de ce genre pourraient, outre leur utilité directe, fournir des indications fort utiles aux applications en grand de la tôle rivée. Ils mettraient promptement en évidence, par l'intensité des effets et pour ainsi dire par l'exagération des vibrations, les défauts ou les qualités de la rivure, le degré de confiance qu'elle mérite, et placeraient peut-être sur la voie de quelques modifications efficaces. Les rivets sont d'ailleurs appliqués aux rails à supports continus (*).

Forme des éclisses.

Forme des éclisses.

233. Les rails se prêtent très-bien, par leur forme, à l'assemblage bout à bout au moyen d'armatures. Ces moises, logées dans la gorge que forme le corps du rail, fléchissent avec celui-ci en vertu des pressions réparties, sur toute leur longueur, par les champignons supérieur

(*) Voir la deuxième partie.

et inférieur. Les boulons qui les entretoisent n'ont aucun effort transversal à subir ; ce sont de simples tirants, que l'excès de diamètre des trous percés dans le rail préserve de toute pression appliquée par celui-ci.

234. La seule circonstance défavorable est l'inclinaison très-prononcée des bords des champignons ; elle tend à la fois à fausser les éclisses et à exagérer la tension des boulons. Un bombement assez faible du profil transversal de l'éclisse atténue le premier inconvénient ; mais toujours est-il que la résistance, à égalité de sections, serait beaucoup plus grande si les surfaces de contact du rail et de l'éclisse étaient horizontales.

Ce résultat, évident de lui-même, a été confirmé et évalué en chiffres par plusieurs expériences de M. Weishaupt.

Deux bouts de rails de $0^m,942$ de portée totale réunis par des éclisses à quatre boulons, ont été soumis à l'action de la presse à levier (173) ; le système a fléchi de 9 à 13 mill. sous des charges de 2.750 à 3.050 kil., et s'est brisé sous une charge qui a varié de 4.270 à 5.590 kil. Les éclisses commençaient à se gauchir dès que la charge atteignait 2.000 à 2.500 kil. L'expérience a été faite ensuite sur des assemblages de mêmes sections, mais à éclisses rectangulaires placées dans un logement de même forme pratiqué au moyen d'une légère entaille au collet du champignon et du pied. On a, en même temps, rapproché un peu les boulons intermédiaires, pour combattre plus efficacement la tendance des éclisses au gauchissement, tendance prononcée surtout au milieu. La résistance de l'assemblage a grandement gagné à ces légères modifications, qui consolident beaucoup les éléments les plus faibles — éclisses et boulons — sans affaiblir sensiblement le plus fort, le rail. Elles ont élevé la charge de rupture à 6.500 et même 6.970 kil., c'est-à-dire de près de 50 p. 100.

Ces faits ont déterminé à adopter la disposition dont il s'agit pour le renouvellement de l'ancienne voie de Berlin à Francfort-sur-l'Oder. Elle avait, d'ailleurs, été appliquée déjà dans le Wurtemberg. Mais on y a renoncé depuis, en Prusse, parce qu'on a jugé plus simple

de limiter l'effort par une réduction purement empirique d'ailleurs et très-insuffisante (236) de la portée, que d'augmenter par un travail d'ajustage, la résistance de l'assemblage.

Dans l'origine, les éclisses s'appliquaient exactement sur le corps du rail. Cette forme était doublement vicieuse ; d'une part, on ne pouvait pas toujours, même en serrant outre mesure les boulons, assurer le contact des éclisses et des champignons, contact qui est la condition essentielle. D'un autre côté, on était conduit ainsi à donner à l'éclisse un profil renflé au milieu, et par suite très-peu favorable à sa résistance transversale. On lui donne aujourd'hui une épaisseur constante, qui, avec ou sans bombement (Pl. IV, *fig.* 5 et 8), laisse entre elle et le corps du rail un *dégagement* très-propre à garantir sa coïncidence exacte avec les bords du champignon.

Éclisse simple.

235. Au chemin de Lübeck à Büchen, on a employé, au lieu d'éclisses-moises, une armature simple placée extérieurement, fort épaisse, et munie d'une saillie qui porte sa section au même chiffre que celle du rail (Pl. III, *fig.* 24). Les expériences comparatives de rupture faites sur cet assemblage et sur d'autres, à éclisses doubles ordinaires, ont constaté en faveur du premier un avantage assez considérable ; mais cette supériorité est la conséquence des dimensions et non, tant s'en faut, celle du principe.

Au reste, le but qu'on se proposait en renonçant à la symétrie de la consolidation n'était pas tant d'augmenter la résistance que de parer au défaut de serrage de l'un des rails, quand ils n'ont pas exactement la même épaisseur, et d'obtenir plus de précision dans la coïncidence des bouts de rails ; effet que cette disposition réalise du reste moins bien que l'autre, et que rien n'autorisait, ce semble, à lui attribuer.

Répartition des traverses :
1° Sans consolidation aux joints.

236. Passons maintenant au mode de répartition des appuis. On peut d'abord remarquer en passant que le chiffre $\frac{2}{3}$, ordinairement pris comme rapport théorique des longueurs des portées, pour les rails à joints non

consolidés, n'est pas rigoureux; il réalise l'égalité de fatigue dans la section de rupture, seulement sous l'action d'une charge appliquée au milieu, et non l'égalité des efforts maximums sous l'action d'une charge mobile. En admettant, comme on le fait ordinairement, l'encastrement aux deux bouts pour la portée intermédiaire de longueur a, et à un bout seulement pour la portée extrême de longueur a', le rapport est donné (226) par la condition $0{,}148\ a = 0{,}1924\ a'$, d'où $\frac{a'}{a} = 0{,}762$.

Si l'expérience a conduit à assigner souvent à ce rapport une valeur beaucoup plus petite (*), c'est qu'il s'agit moins, en pratique, d'égaliser les efforts que d'atténuer le ressaut au joint; effet que la réduction de la portée extrême réalise par plusieurs motifs évidents. Du reste, on s'en tient à peu de chose près au rapport théorique sur quelques lignes nouvellement construites, et qui conservent, avec le rail à champignons, la discontinuité aux joints. Au chemin de Lyon à la Méditerranée, par exemple $a = 1^{m},025\ a' = 0^{m},70$; d'où $\frac{a'}{a} = 0{,}682$.

2° Avec les joints consolidés.

Avec les éclisses, les portées extrêmes sont dans les mêmes conditions extérieures que les autres, et l'égalité des efforts maximum développés dans les rails et dans les éclisses, exigerait qu'on eût $\frac{a'}{a} = \frac{I'V}{IV'}$, I étant le moment d'inertie de la section du rail, I' celui des deux éclisses, V et V' les demi-hauteurs respectives. Mais, tandis que l'expression $\frac{I'V}{IV'}$ est toujours inférieure à 0,25 (résultat que confirme d'ailleurs la mesure directe (234) des résistances du rail continu et de

(*) Au *Great-Northern*, par exemple, $a' = 0{,}457$, $a = 0{,}914$, $\frac{a'}{a} = 0{,}50$.

l'assemblage), le rapport $\frac{a'}{a}$ atteint et dépasse $0^{m},8$. Au chemin central de Suisse, par exemple, pour lequel on a employé des rails de trois longueurs différentes, $\frac{a'}{a} = 0{,}767$, 0,823, et 0,878. Les traverses sont même également espacées sur une partie du chemin du Main au Neckar, et sur le chemin tout nouvellement reconstruit du duché de Bade. Ici on a compté simplement sur l'excès de largeur de la traverse de joint, pour réaliser la réduction de la portée (198). On s'est, en un mot, très-peu préoccupé, en Allemagne, des efforts développés dans les éclisses, quelle que soit la position du joint, appuyé, ou en porte-à-faux. Leur section paraît, du reste, rigoureusement suffisante; mais ce n'est pas une raison pour négliger les moyens simples (234) d'améliorer la résistance de l'assemblage, et d'atténuer ainsi la disproportion des efforts développés dans le rail et dans les éclisses, tout en se rapprochant de l'uniformité de répartition des appuis.

On étudie du reste en Allemagne une application moins importante en elle-même que comme renfermant en germe toute une révolution dans la nature des rails (208). C'est la substitution de l'acier puddlé au fer pour les éclisses.

Ces éclisses introduites en 1853, sur les chemins de Berg-et-de-la-Marche, et de Stargard à Posen, ont été placées en 1854 jusqu'à Kreuz et doivent l'être maintenant jusqu'à Posen. Elles sont fortement bombées; elles ont $0^{m},47$ de longueur, $0^{m},08$ de largeur, et pèsent $6^{k},70$ la paire. Le joint est placé sur une plaque de fer laminé pesant $1^{k},95$, et le tout fixé à la traverse par quatre crampons.

Application des éclisses aux rails à champignon inférieur.

Application des éclisses au rail à coussinet.

237. Tout en regardant le coussinet comme ayant fait son temps, sa combinaison avec les éclisses n'en a pas moins une grande importance actuelle pour les

lignes en exploitation ; il s'agit avant tout de tirer le meilleur parti possible de leurs voies, d'y introduire, sous le rapport de la sécurité, de l'économie d'entretien, toutes les améliorations qu'elles comportent.

Trois solutions se présentent pour l'application des éclisses aux rails à champignons :

1° Remplacement des coussinets de joints ordinaires par d'autres assez larges pour recevoir les éclisses et le coin ;

2° Position du joint en porte-à-faux ;

3° Emploi d'éclisses-cornières.

Premier mode.

1° Combinaison des éclisses avec le coussinet.

238. Il a été appliqué d'abord à la ligne de Dusseldorf à Elberfeld (222), sur laquelle on a pu, grâce à l'addition des éclisses, prolonger de plusieurs années le service des rails, à champignons inégaux, devenus beaucoup trop faibles pour le matériel roulant. Le coin en bois a été remplacé par une clavette en fer, afin de diminuer la largeur du coussinet.

Chevilles en bois.

Ceux-ci ont été fixés par des chevilles en bois. Ce mode d'attache introduit en Angleterre par M. Cubitt, appliqué en France au chemin de Montereau à Troyes, et abandonné en principe sur cette ligne comme offrant peu de sécurité, est cependant assez répandu sur les chemins anglais, mais en portant à trois le nombre de chevilles au joint; M. Rendel l'a également adopté pour le chemin de l'Inde.

Perfectionnement indiqué par M. Adam.

M. Adam a proposé de donner au trou une section circulaire, et à la cheville une section elliptique dont le petit axe est dirigé suivant les fibres de la traverse. La cheville est forcée ainsi de se déformer un peu en s'enfonçant, sans que la pression très-considérable à laquelle elle est soumise puisse faire fendre la traverse. Le corps de la cheville est d'ailleurs légèrement tronc-conique, avec le gros bout en bas.

Ces détails sont ingénieux; mais ce qui manque aux chevilles en bois ce n'est pas la liaison avec les traverses, c'est la solidité.

Comme on ne peut pas exagérer leur diamètre, on augmente leur nombre, mais cela est loin de revenir au même. Il est probable qu'en y regardant de près, on reconnaîtrait qu'une des chevilles est souvent cassée net au ras de la traverse. C'est du moins ce qu'on a observé fréquemment sur la ligne de Montereau. D'ailleurs, quand on parviendrait à rendre les chevilles en bois parfaitement sûres, ce ne serait toujours qu'une amélioration très-secondaire d'une disposition radicalement vicieuse en elle-même.

Chemin du Taunus.

Le coussinet au joint a été également conservé sur le chemin du Taunus; sa largeur a permis d'y adapter un coin en bois; les boulons des éclisses ont leurs têtes placées à l'intérieur, et fraisées.

La position des têtes est assez indifférente sur un grand nombre de chemins allemands, parce que les traverses, affleurant le ballast, ont leur face supérieure à nu. Il n'en est pas de même en France, où l'on tient à enfouir les traverses, et à araser le ballast, extérieurement à la voie, presque au niveau des coins ; il faut alors que les écrous soient placés à l'intérieur, pour être visibles et facilement accessibles.

Deuxième mode.

2° Joint en porte-à-faux.

239. On ne trouve en Allemagne, parmi les cas, fort peu nombreux d'ailleurs, d'application des éclisses aux rails à coussinet, aucun exemple de la suppression du coussinet au joint, placé en porte-à-faux. Cette disposition est, au contraire, générale en Angleterre, ce qui suffit pour qu'elle tende à prévaloir en France.

C'est du reste sans discussion, et en quelque sorte tout naturellement, qu'on a adopté en Allemagne et en Angleterre ces deux solutions différentes du même problème. Les éclisses ont été appliquées d'abord à des voies déjà existantes. Pour le rail américain, tout se réduisait à poser les éclisses, sans rien changer à la dis-

position des supports ; il était tout simple de profiter de cette faculté. C'est aussi à certains égards la simplicité qui a conduit, en Angleterre, à placer en porte-à-faux le joint du rail à champignons, car on était dispensé ainsi d'ajouter des coussinets spéciaux ; il est vrai qu'il fallait, en revanche, modifier la répartition des traverses, opération coûteuse, mais du moins exempte des retards qu'entraîne souvent une fourniture de coussinets. Quelquefois aussi on a été conduit aussi à une addition onéreuse, celle d'une nouvelle traverse. Ce cas s'est présenté récemment en France au chemin du Nord, pour l'application des éclisses aux rails de 6 mètres, posés sur 7 traverses.

Les ingénieurs allemands prétendent, il est vrai, justifier la coïncidence du joint avec un appui par un motif indépendant de la forme du rail et de la préexistence de la voie, c'est-à-dire par la solidité même de l'assemblage. On a vu (227) que cet avantage est, sinon nul, du moins sujet à discussion et tout à fait indirect.

Pour le rail américain, c'est avec raison que cette disposition a été adoptée, non-seulement pour les anciens chemins, mais aussi pour les voies établies de toutes pièces. Les éclisses ne reliant que la région moyenne des rails, la coïncidence des champignons doit être plus complète quand les bouts sont appliqués par leur large base sur une même surface bien dressée, que quand le joint est *en l'air*. Le même motif n'existe plus, du moins au même degré, pour les rails à coussinet ; on peut alors regarder les deux positions comme à peu près équivalentes théoriquement, sauf l'observation faite plus haut (225).

Rapports des longueurs des portées dans les voies à éclisses, avec le joint en porte-à-faux.

240. a étant l'écartement des traverses intermédiaires, a' l'écartement des traverses entre lesquelles est compris le joint en porte-à-faux, on a comme ci-dessus (236),

pour l'égalité de résistance des travées, la condition :

$$\frac{a'}{a} = \frac{I'V}{IV'}.$$

Avec les dimensions transversales qu'on donne habituellement aux éclisses, cela conduirait pour a' à des valeurs très-petites, et même inadmissibles en ce que la longueur des éclisses serait par cela même trop restreinte. Au chemin du Nord, par exemple, on a :

Pour le rail : $\frac{I}{V} = 0{,}0001425$;

Pour les éclisses : $\frac{I'}{V'} = 0{,}0000325$;

D'où : $\frac{a'}{a} = 0{,}228$;

Tandis qu'on a fait :

$$a = 0^m{,}90, \quad a' = 0^m{,}60, \quad \frac{a'}{a} = 0{,}67.$$

Rapport à peu près égal à celui qu'on avait adopté pour la voie sans éclisses ($a = 1^m{,}14$, $a' = 0{,}79$, $\frac{a'}{a} = 0{,}69$).

La disproportion des efforts est donc moins grande que pour les voies américaines, dont les joints reposent sur un appui (236) ; mais comme elle peut avoir des conséquences plus graves (225), peut-être est-elle encore exagérée.

Il faudrait, pour la racheter en partie, augmenter un peu la section des éclisses ; cela serait prudent. Il est vrai que les éclisses sont fabriquées avec du fer de meilleure qualité, et surtout moins cassant que les rails ; mais il faut se garder cependant d'employer, pour éviter les ruptures, des fers trop mous,

qui ne tarderaient pas, en se déformant, à produire une déflexion permanente au joint.

Si, du reste, on venait à reconnaître que les éclisses sont trop faibles relativement aux rails, la première chose à faire serait de les renforcer un peu aux dépens de ceux-ci, en profitant de la faible marge qui reste encore pour le rapprochement des traverses entre lesquelles le joint est compris.

Prix de la consolidation au chemin de fer du Nord.

1 éclisse extérieure à rainure. .	4k,64	
1 — intérieure —	4 ,84	
	9 ,48	
à 397f,50 la tonne.		3f,768
4 boulons à rondelles pesant. .	1k,65	
à 650f		1 ,072
		4f,840 par joint.

Soit, avec des rails de 6 mètres, 3.225 francs par kilomètre de chemin à double voie.

Tel est le prix de l'application des éclisses, à une voie neuve ; les usines livrent au même prix les rails percés ou non percés. Mais, s'il s'agit de consolider une voie existante, il faut ajouter la dépense de démontage et de remaniement complet de la voie, et de forage des trous sur place. Cette dépense ne s'élève pas à moins de 1.800 fr. par kilomètre à deux voies, soit, en tout, plus de 5.000 fr., le nombre des traverses restant le même. On ferait donc un fort mauvais calcul si, en posant une voie, on ajournait à une autre époque la pose, adoptée en principe, des éclisses avec le joint en porte-à-faux.

Troisième mode.

3° Eclisses-cornières.

241. L'idée de supprimer le coussinet de joint sans aucun remaniement des traverses, en donnant à l'éclisse elle-même, par l'addition d'une base assez large, la stabilité qui manque au rail, est assurément fort naturelle ; elle a été appliquée, dès l'année 1850, à une section du chemin de Westphalie (Pl. III, *fig.* 25 et 28). Deux flasques ou cornières en fer, boulonnées sur les rails dont elles suivent exactement les contours latéraux, se replient à angle droit sur la traverse, à laquelle chacune d'elles est fixée par deux boulons ; elles pèsent 4k,68 la pièce. Il n'y a pas de plaque de joint ; on a pensé qu'avec un mode de liaison qui supprime entièrement le *claquement*, et qui assure d'ailleurs à la surface d'appui une étendue considérable, le bois n'avait aucun besoin d'être protégé par une plaque métallique. Cet assemblage s'est, en effet, parfaitement comporté sous tous les rapports. Sa résistance à la rupture est, en outre, considérable ; il n'a cédé, dans les conditions déjà indiquées pour les autres, que sous une charge de 12.350 kil., environ moitié de la charge de rupture des rails. D'ailleurs les boulons seuls étaient rompus, et les cornières à peine déjetées. Ce mode d'application des éclisses aux rails à champignon inférieur paraît, à tous égards, préférable aux deux précédents, et surtout au second, quand il s'agit de consolider une voie déjà posée (240).

Chemin Rhénan. Ancienne voie.

Les éclisses-cornières ont été appliquées également à la consolidation de l'ancienne voie du chemin Rhénan, mais on a cru devoir ajouter une large plaque de joint à épaulements latéraux, entre lesquels les cornières sont enchassées.

242. Cette addition, tout à fait inutile dans ce cas, eût été au contraire le complément indispensable d'une disposition essayée aussi sur le chemin de Westphalie pour des rails à simple champignon, c'est-à-dire le remplacement pur et simple du coussinet de joint par des éclisses sans patin affleurant la base du rail, et maintenus seulement entre deux crampons enfoncés jusqu'à la tête dans la traverse. Cette tentative n'a pas réussi,

et ne pouvait pas réussir. Le défaut de largeur de la surface d'appui était d'autant plus manifeste que rien ne garantissait l'application exacte des rails et de leur armature sur la traverse. Les conditions de résistance des boulons, et par suite des éclisses elles-mêmes, sont d'ailleurs totalement changées, car les premiers travaillent transversalement.

Substitution des fers d'angle aux coussinets intermédiaires.

245. En appliquant aux joints les éclisses-cornières, on n'a d'abord rien changé aux appuis intermédiaires. Mais plusieurs ingénieurs ont pensé que le mode appliqué avec succès aux uns devait convenir également aux autres. Pour une voie déjà construite, cette transformation serait une dépense à peu près en pure perte, car les coussinets intermédiaires sont loin de donner prise à des critiques aussi graves que ceux des joints. Mais la question était intéressante en elle-même ; elle l'est plus encore aujourd'hui, en présence de l'élévation du prix des fontes.

On a donc remplacé récemment par des fers d'angle tous les coussinets d'une section du chemin de Westphalie : les cornières conjuguées pesant $1^k,87$ l'une, sont fixées au rail par un même rivet, et à la traverse chacune par une vis à bois ; la rivure est faite *pleine*, de sorte que les traverses suivent les légères variations de longueur du rail. C'est seulement à leur assemblage avec les cornières de joint, assemblage opéré, comme on l'a dit, au moyen de boulons, que les trous du rail ont du jeu.

Le succès de cette expérience est jusqu'à présent complet, tant en Westphalie que sur la ligne de Brunswick à Oschersleben, à laquelle le même mode a été appliqué en 1853. Ce mode présente, comparativement aux coussinets, l'avantage de l'économie et de la sécurité à coup sûr, et probablement celui d'un meilleur service, d'une locomotion plus douce, d'un entretien plus simple ; il

mériterait d'être pris en grande considération, dans le cas où l'emploi du rail à champignons serait imposé par des engagements antérieurs.

Comparaison du rail américain et du rail symétrique fixé par des fers d'angle.

244. Mais il y a plus : on peut se demander si cette forme, ainsi affranchie du coussinet, ne doit pas reprendre l'avantage sur le rail américain.

Déjà en Prusse quelques ingénieurs n'hésitent pas à se prononcer pour l'affirmative. Cette opinion a quelque chose de spécieux, mais elle semble tout au moins prématurée. Sans doute la disposition dont il s'agit concilie les avantages propres au rail américain, et au rail symétrique : c'est-à-dire d'une part la stabilité *propre*, et la suppression du claquement ; de l'autre, la faculté du retournement. Celle-ci cesse même d'être sujette aux restrictions que lui impose (187) l'emploi du coussinet ; le retournement est toujours praticable, quel que soit l'état d'usure ou d'écrasement du champignon inférieur ; et le champignon inférieur donne en même temps pour le roulage une surface parfaitement saine, exempte du maculage que produisent les coussinets.

Ces avantages sont réels ; l'expérience du chemin de Westphalie peut contribuer à porter le dernier coup au coussinet, mais il ne paraît pas qu'elle doive en même temps réhabiliter en Allemagne le rail à champignons, et justifier en Angleterre et en France son emploi plus prolongé.

Inconvénients des fers d'angle rivés.

Il y a, ici comme en tout, le chapitre des inconvénients. Avec les coussinets, le retournement est la chose du monde la plus simple. Avec les cornières, il comprend non-seulement la dépose et la pose des vis à bois, mais aussi la section du rivet, et la pose d'un nouveau ; Cela devient en un mot toute une opération. D'un autre côté, en supposant le trou du rivet percé exactement au milieu de la hauteur dans le rail neuf, il ne sera

plus au milieu quand le champignon supérieur sera usé et aplati : de sorte qu'après le retournement, les cornières porteront seules sur la traverse, et le rail non. L'usure est d'ailleurs trop irrégulière pour qu'on puisse lui faire approximativement sa part d'avance, en perçant le trou un peu au-dessous du milieu. L'entretien d'une voie semblable entraîne, en un mot, une sujétion difficilement admissible, si ce n'est peut-être pour les lignes à faible trafic sur lesquelles on peut prendre son temps, par exemple pour retourner un rail.

Le rail américain doit être préféré.

Il vaut mieux renoncer au retournement que de l'acheter à ce prix. Si le succès de l'expérience faite en Westphalie se confirmait au point de généraliser ce système de voie en Allemagne, aux dépens du rail américain, ce serait certainement un fait significatif; mais on n'en est pas là, tant s'en faut. Comparé au rail américain, le rail à cornières me paraît une complication tout au moins hasardée. On admet que les deux types de rails, à champignons et américain, doivent avoir le même poids; on grève donc l'établissement de toute la dépense qu'entraînent les fers d'angle intermédiaires, et la plus-value des éclisses-cornières des joints; et cela pour se ménager la faculté d'un retournement, très-praticable sans doute en ce qui touche l'état du rail lui-même, mais aussi très-délicat et minutieux. L'avantage pécuniaire est, en somme, au moins très-douteux, même en attribuant au retournement une valeur *actuelle* très-notable, et en poussant l'économie à ses dernières limites pour les accessoires qu'exige le rail à champignons. Il semble donc peu logique d'emprunter ainsi à des intermédiaires la stabilité que le rail peut si facilement posséder par lui-même, grâce à une simple modification de sa forme. Le rail américain, avec des éclisses plates au joint, concilie

mieux que tout autre l'économie d'établissement, la sécurité, la simplicité de l'entretien.

Rail à base rapportée, proposé par M. Adam.

245. Parmi les tentatives ayant pour objet la suppression des coussinets, on peut citer comme se rattachant à la disposition appliquée en Wesphalie, un des nombreux projets conçus par M. Adam. Son rail est pourvu également d'une base rapportée, et fixée aux traverses. Seulement, cette base est composée de deux cales en bois, réunies par un boulon qui traverse le corps du rail; celui-ci est engagé dans la traverse d'une quantité égale à la demi-épaisseur du champignon, ce qui a l'avantage de raccourcir le bras de levier de renversement, et surtout de soustraire les chevilles aux efforts transversaux.

Serre-rails de M. Barberot.

246. Cette disposition remplacerait sans doute avantageusement le coussinet, et peut-être les fers d'angle; mais elle semble, à tous égards, inférieure à une autre qui se recommande par un cachet de simplicité séduisant, et qui a subi avec succès l'épreuve d'une application déjà assez prolongée : c'est celle que M. Barberot a fait connaître sous le nom de *serre-rails*. Le rail, engagé par le bas dans une rainure *a* (Pl. IV, *fig.* 10 et 11), est arc-bouté par deux courtes contre-fiches buttant contre des épaulements formés par une large entaille ménagée dans la traverse. Cet assemblage est serré au moyen d'une vis à bois appliquée normalement à chacune des contre-fiches.

Les conditions essentielles sont ainsi satisfaites : plus de coussinet, plus de coin, plus de maculage du rail, même au joint, plus de ressaut en ce point. Le fer ne détruit pas le bois, malgré la petitesse de la surface de contact, à cause de la coïncidence parfaite du rail et de la traverse, constamment pressés l'un contre l'autre. Les cales, en bois debout, donnent un serrage qui n'est pas, comme celui des coins à fibres parallèles au rail, soumis aux variations d'état hygrométrique du bois. Enfin, tous les efforts, les chocs latéraux, sont sup-

portés par des pièces solidement constituées et ne réagissent pas sensiblement sur les vis, qui n'ont aucune résistance transversale à développer, et doivent seulement, par leur tension, maintenir le rail exactement appliqué sur le bois.

État de tension du système, pour un serrage déterminé des vis.

1° En supposant les cales appliquées seulement contre le corps du rail.

247. 1° Si l'on suppose d'abord (Pl. IV, *fig.* 12) la contre-fiche appuyée seulement sur le corps du rail, t étant la tension donnée à la cheville, d sa distance à l'extrémité inférieure de la contre-fiche, l la longueur de celle-ci, α son inclinaison sur la verticale, Q la réaction horizontale en M, P la réaction verticale en A, h la distance nn', f le coefficient du frottement de bois sur fer, on a, pour la compression longitudinale de la contre-fiche :

$$C = Q\sin\alpha - fQ\cos\alpha,$$

et pour la pression qui maintient le rail appliqué sur la traverse : $P = 2fQ$.

La cale s'appuie sur le corps du rail, par suite de sa tendance : 1° à tourner autour de son arête inférieure A ; 2° à glisser sur la portée de l'entaille. Il y a donc, en général, une poussée horizontale de *rotation* R, et une poussée de *glissement* G ; la plus grande de ces deux poussées est la valeur de la réaction Q.

Or, on trouve facilement :

$$R = t.\frac{d}{l}\frac{1}{\cos\alpha + f\sin\alpha},$$

et, β étant l'inclinaison de la base inférieure de la cale sur ses arêtes, et f' le coefficient relatif au bois frottant sur bois :

$$G = t.\frac{\sin\beta - f'\cos\beta}{\sin(\alpha+\beta)(1-ff') - \cos(\alpha+\beta)(f+f')};$$

soient, par exemple,

$$\alpha = 70°,\ \beta = 70°,\ f = f' = 0{,}35,\ d = \frac{l}{2},$$

il vient

$$R = 0{,}74t,$$
$$G = 1{,}33t.$$

C'est donc G qu'il faut substituer à Q dans les expressions de C et de P, ce qui donne :

$$C = 1{,}09t,$$
$$P = 0{,}93t.$$

On voit qu'il importe de disposer les choses de telle sorte que l'arête inférieure A de la cale ne vienne pas s'appliquer contre le fond de l'entaille ; car si ce contact avait lieu, la plus grande des deux poussées, celle de *glissement*, étant alors annulée, la réaction Q serait réduite à $0{,}74t$, C à $0{,}61t$, et P à $0{,}718t$.

2° En les supposant appliquées seulement sur les champignons.

248. 2° Si au contraire la cale pressait seulement le champignon (*fig.* 13), on aurait, γ désignant l'inclinaison du bord de celui-ci sur la verticale, et S la réaction normale de chaque côté : $C = 0$, $P = 2S\sin\gamma$. Or, l'équilibre de rotation donne :

$$S' = t.\frac{d}{l}\frac{1}{\cos(\alpha-\gamma)},\ \text{d'où}\ P = t.\frac{2d}{l}\frac{\sin\gamma}{\cos(\alpha-\gamma)},$$

et l'équilibre de translation :

$$S'' = t.\frac{\sin\beta - f'\cos\beta}{\sin(\alpha+\beta-\gamma) - f'\cos(\alpha+\beta-\gamma)}.$$

Pour les mêmes valeurs numériques que ci-dessus, et $\gamma = 35°$, on a :

$$S' = 0{,}69t,\quad S'' = 0{,}93t.$$

La véritable valeur de la réaction est donc $S = 0{,}93t$, ce qui donne : $P = 1{,}52t$.

En pratique, la contre-fiche presse en même temps le corps et le pied du rail (*fig.* 10) ; de sorte que, pour une valeur donnée de t, les pressions Q, C et P sont indéterminées, et comprises respectivement, — suivant

que la résultante des réactions de la cale se rapproche plus de la normale au corps, ou de la normale au pied, — entre les limites ci-dessus, qui correspondent aux deux cas extrêmes.

249. F étant la poussée horizontale appliquée par le mentonnet d'une roue, k la distance TU (*fig.* 12), le surcroît de tension qui en résulte pour la cheville est $t' = F\frac{k}{d}$; mais il n'arrive presque jamais que le rail soit pressé horizontalement, sans être en même temps soumis à une charge verticale considérable. La résultante des pressions de la jante et du mentonnet passe toujours alors au-dessous du point T, de sorte que le surcroît de tension de la vis est nul. Le rapport des bras de levier de stabilité et de renversement est bien plus favorable dans ce système que dans tout autre, l'axe autour duquel la rotation tend à se faire étant à la fois plus rapproché de la tangente au sommet du rail, et plus éloigné de son axe vertical.

Avantages probables de ce mode d'attache.

250. Ce mode de liaison a surtout une propriété précieuse, c'est de s'appliquer, sans modification, à une consolidation très-efficace des joints; on donne seulement un peu plus de largeur aux cales. La pression appliquée aux champignons en même temps qu'au corps des deux rails contigus garantit la coïncidence exacte des bouts, et annule le ressaut. Les cales pourraient d'ailleurs très-bien se combiner avec les éclisses; mais ce système doit avoir et il peut justifier la prétention de les rendre inutiles.

Il n'a pas subi encore d'une manière assez complète l'épreuve indispensable, surtout en pareille matière, celle du temps; mais il s'en est jusqu'à ce jour tiré à son honneur. Les essais faits sur les lignes de Rouen et de l'Est sont assez satisfaisants, pour qu'on puisse, dès à présent, l'adopter avec confiance, au moins pour les voies secondaires qui doivent être établies économiquement. Les expériences citées, celles qu'on commence en ce moment même au chemin du Nord, lui permettent d'ailleurs d'espérer, dans un avenir assez prochain, des applications plus importantes.

Il a, comme les cornières essayées en Westphalie, l'avantage d'être très-favorable à la conservation du profil, et par suite au retournement du rail symétrique; retournement qu'il permet d'ailleurs d'opérer bien plus simplement. Mais il a de plus, et c'est ce qui lui donne à mes yeux une valeur particulière, la propriété de s'adapter au rail américain, tout aussi bien qu'au rail à champignons; et comme il donne incontestablement de très-bons joints, on aurait une voie à la fois solide et économique en adoptant le rail à large base fixé, comme à l'ordinaire, sur les traverses intermédiaires, par des crampons, et aux joints par des serre-rails sans éclisses. Cette combinaison paraît digne d'être recommandée aux ingénieurs qui cherchent à faire bien et à peu de frais.

251. Il reste, sans doute, encore quelques points à éclaircir. Une liaison qui repose, en définitive, sur la résistance à l'arrachement d'une vis à bois, peut inspirer quelque défiance. N'est-il pas possible, par exemple, qu'une cale de joint extérieure vienne à sauter sous l'action d'un choc? L'intervalle ménagé entre les cales et la traverse ne sera-t-il pas souvent obstrué par le gravier, de manière à rendre le serrage, ou peu efficace (247), ou impossible? La nécessité de conserver aux pas de vis une prise suffisante ne conduira-t-elle pas à remplacer les traverses plus tôt qu'on ne le ferait dans les conditions ordinaires? Tout ce qu'on peut dire à cet égard, c'est que rien jusqu'à présent ne paraît justifier ces craintes, et que la faible tension qu'il suffit de donner aux vis semble très-rassurante pour la durée de l'assemblage. Ces vis seraient d'ailleurs, au besoin, remplacées par des boulons à écrous.

Inclinaison du rail.

252. L'inclinaison du rail est facilement obtenue soit en inclinant tout le système, c'est-à-dire la ligne de gorge AB de l'entaille, soit en laissant cette ligne horizontale, et donnant aux cales des longueurs et des profils un peu différents. La précision de l'exécution est d'ailleurs une condition de rigueur du succès, mais elle serait facile à réaliser dans une application en grand. Rien ne serait plus simple que d'obtenir une exactitude et une uniformité absolues, en faisant les deux entailles à la fois à la machine à raboter et en débitant de même les cales mécaniquement.

(*La seconde partie à la troisième livraison.*)

VOYAGE AU LAC SUPÉRIEUR.

(ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.)

Exécuté en 1854, par M. L.-E. RIVOT, ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

PRÉFACE.

L'Amérique du Nord est admirablement partagée sous le rapport des richesses minérales; à l'occident la Californie et les territoires voisins possèdent des gisements d'or et de mercure dont la découverte récente a retenti dans le monde entier; à l'orient, cette partie de l'Amérique, qu'on pourrait appeler les vieux États de l'Union, renferme des dépôts immenses d'anthracite et de houille, des minerais de fer, de cuivre, de zinc, de plomb, de sel gemme, des gisements d'argent et d'or. Le sol est couvert, sur d'immenses étendues, de forêts encore vierges, dans lesquelles les défrichements pénètrent avec une rapidité incroyable. La configuration du sol a permis d'établir en peu de temps des moyens de transport faciles et très-économiques, ce qui, en Europe, eût exigé un temps si long et des dépenses si grandes.

Combustibles minéraux.

La formation carbonifère, à l'est des Alleghanies, s'étend depuis le nord de la Pensylvanie jusqu'à l'Alabama, et présente des couches nombreuses et puissantes d'excellent combustible, d'anthracite n'éclatant pas au feu, de houille grasse et de houille maigre. Les fleuves, les grands lacs, les canaux et les chemins de fer permettent de les transporter, avec des frais peu élevés, dans toutes les parties des États-Unis.

La même formation est constatée à l'ouest des Alleghanies, dans l'Illinois, l'Iowa et le Missouri, et probablement elle se continue jusque dans l'Arkansas, recouverte en partie par des terrains plus modernes. L'existence d'un bassin houiller a même été constatée dans l'État de Michigan, mais jusqu'à présent le charbon qu'il produit ne paraît pas être de bonne qualité. — Dans ce vaste développement du terrain carbonifère, qui assure pour l'avenir la richesse industrielle de l'Amérique, les mines de Pensylvanie sont seules exploitées maintenant avec activité : — elles fournissent le combustible minéral aux villes du littoral et de l'intérieur (1).

Minerai de fer.

Les terrains houillers de l'est et de l'ouest contiennent des couches puissantes de fer carbonaté, dans la Pensylvanie, l'Ohio, le Tennessee, la Virginie, l'Alabama, etc... — Ces minerais sont riches, de bonne qualité, et produisent de très-bon fer.

Les minerais de fer de toute nature et de toute qualité se trouvent en dépôts considérables dans les formations géologiques qui constituent le sol des États de l'Union ; ils sont à proximité des terrains carbonifères ou des immenses forêts vierges, et souvent à peu de distance des matériaux réfractaires. Aussi, sous le rapport des matières premières, la fabrication de la fonte et du fer est dans les conditions les plus favorables.

Le haut prix de la main-d'œuvre, l'absence d'ouvriers spéciaux, le défaut d'ingénieurs instruits dans cette fabrication difficile, forment la contre-partie de ces avantages, et les usines américaines réclament en-

(1) A Boston et à New-York, le prix du bon charbon de Pensylvanie était de 25 à 30 francs par tonne en 1853 ; il a monté en 1854 jusqu'à 40 et 42 francs.

core des droits protecteurs, qui leur permettent de lutter contre la concurrence anglaise. Sous l'empire des droits actuels, l'Angleterre peut expédier des quantités considérables de fonte et de fer en Amérique, dans ce pays d'une richesse incomparable en forêts, en combustibles minéraux et en minerais de fer.

Cette situation anormale se prolongera peut-être longtemps encore, car le prix de la main-d'œuvre est loin de tendre à s'abaisser ; le développement toujours croissant des entreprises industrielles de toute nature aura plutôt pour résultat d'élever progressivement le salaire des ouvriers spéciaux.

Minerais de plomb.

Les minerais de plomb se trouvent principalement dans l'Illinois, l'Iowa, le Missouri, le Wisconsin, et paraissent former des gisements très-importants. Leur exploitation n'est pas poussée très-activement, en raison peut-être du petit nombre d'habitants qui se sont fixés dans ces contrées lointaines.

Cependant cette raison n'est pas la seule, car les gisements de galène de l'État de New-York ne sont pas non plus en exploitation active. La galène peu argentifère n'a pas une valeur assez grande pour donner des bénéfices considérables et immédiats, qui sont le but de presque toutes les entreprises américaines. Dans ces dernières années l'Europe a fourni à l'Amérique du Nord des quantités importantes de plomb.

Minerais de zinc.

Les États-Unis ne produisent encore que peu de zinc ; cependant les minerais sont abondants : la calamine, la brucite, la blende existent en filons et en amas considérables dans l'Illinois et le New-Jersey, et probablement dans plusieurs autres États. L'attention des industriels commence à se porter sur ces gisements ; dans un avenir assez rapproché plusieurs usines seront

probablement construites et pourront produire tout le métal consommé dans l'Union.

Or. L'or existe en filons et dans les alluvions en Californie ; la Virginie et la Caroline en renferment des dépôts moins importants, dans lesquels sont faites des explorations très-actives.

Sel gemme. Le sel gemme est produit en abondance par l'État de New-York, et des sources très-chargées de sel ont été découvertes depuis longtemps à Onondaga.

Cuivre. Les minerais de cuivre sont exploités dans l'État de New-York, dans la Caroline, dans la Virginie; ce sont des cuivres pyriteux assez riches et très-purs. Ils sont fondus, en même temps que des minerais achetés à l'étranger, dans l'usine de Boston.

Leur importance disparaît devant celle des gisements de cuivre et d'argent natifs du lac supérieur, exploités depuis dix ans, et qui produiront en 1855 plus de trois mille tonnes de cuivre.

Les mines de cuivre du lac supérieur ont été l'unique objet de mon voyage; aussi dans mon mémoire je m'occuperai seulement de cette partie de la richesse minérale des États-Unis.

INTRODUCTION.

Historique. Les tribus indiennes paraissent avoir exploité les mines de cuivre du lac Supérieur depuis les temps les plus reculés; elles ont enlevé des quantités considérables de ce métal, qu'elles employaient pour leurs armes, pour leurs armements et comme objet d'échange. Leurs travaux ont été mis progressivement à découvert par les exploitants actuels ; leur antiquité est constatée par l'épaisseur de la terre végétale qui recouvre les déblais, et par les dimensions des arbres séculaires qui ont poussé sur ces terrains.

Les travaux anciens ont été d'abord attribués à une race différente de celle des Indiens ; mais leur disposition uniforme, les procédés employés pour dégager et détacher les morceaux de cuivre, le feu et des marteaux de pierre, la certitude que les Indiens ont exploité, rendent l'hypothèse peu probable, et ne permettent pas de croire à l'existence d'une race plus éclairée que celle des Peaux-Rouges.

On trouve dans les publications faites au dix-septième siècle sur le Canada, des indications assez certaines sur l'existence du cuivre natif sur les bords du lac Supérieur, et l'exploitation de ce métal par les Indiens.

L'ouvrage le plus curieux à consulter est celui rédigé par les Pères jésuites, sous le titre : *Relation de ce qui s'est passé à la Nouvelle-France dans les missions des PP. de la Compagnie de Jésus, depuis* 1632 *jusqu'en* 1772.

Ces relations contiennent les notes recueillies dans les voyages des missionnaires Raymbault, Jogues, Réné Mesnard, Allouez, Dablon, Marquette, etc...

Ces hommes énergiques, entraînés par leur zèle religieux, n'hésitaient pas à parcourir seuls les territoires du lac Supérieur et du lac Michigan, dans le but de convertir à la religion chrétienne les habitants des forêts vierges.

Plusieurs d'entre eux devaient posséder une instruction très-avancée, car la carte du lac Tracy ou Supérieur, publiée en 1669 sur leurs indications, est d'une exactitude remarquable : nous devons admirer l'énergie indomptable que ces religieux ont montrée en parcourant seuls ces contrées sauvages, qui maintenant encore sont d'un accès difficile.

Il résulte des relations écrites par les P P. jésuites, que les tribus indiennes venaient à certaines époques exploiter le cuivre natif sur les côtes du lac Supérieur, et que leurs chefs religieux se réservaient la direction des entreprises comme un moyen d'influence : les missionnaires rapportent un grand nombre de légendes et de traditions superstitieuses répandues parmi les Indiens, auxquels leurs chefs recommandaient le plus grand secret vis-à-vis des étrangers.

Plusieurs missions furent établies par les jésuites au Saut-Sainte-Marie, à Makinaw, à la Pointe, etc..., toutes en des localités admirablement choisies. Sur leurs indications, le gouverneur de la Nouvelle-France, M. de Tallon, fit prendre possession de tous les territoires au nom du roi. Cette cérémonie fut accomplie au mois de mai 1671, au Saut-Sainte-Marie, par M. de Lussan, en présence du Père Marquette et d'une nombreuse réunion des tribus indiennes.

Les efforts des missionnaires, la prise de possession au nom du roi, furent complétement stériles : la contrée passa entre les mains de l'Angleterre en 1763, en même temps que le Canada ; la génération actuelle n'a conservé d'autre souvenir des Jésuites et de la France que des traditions sur les richesses en cuivre et la langue française, que les ouvriers canadiens parlent encore avec la plus grande pureté.

L'Angleterre n'eut jamais qu'une souveraineté nominale sur les terrains voisins du lac Supérieur et du lac Michigan, terrains qui furent annexés aux États-Unis après la guerre de l'Indépendance. La ligne de démarcation entre les possessions anglaises et américaines est tracée sur la carte que je joins à mon mémoire (Pl. VI). Elle coupe à peu près par la moitié les lacs Ontario, Érié, Huron et Supérieur.

Bien des voyageurs ont parcouru le Canada et ont pu recueillir des renseignements sur les richesses minérales exploitées par les Indiens sur les bords du grand lac. Le baron de la Houton, le professeur suédois Peter Kalm, Charlevoix, Hennepin, Hériat, Henry, etc., ont publié des relations plus ou moins exactes des mines de cuivre du lac Supérieur, que cependant ils n'ont point tous visité. On doit remarquer particulièrement les voyages de Henry, publiés à New-York en 1809.

Henry, négociant anglais, fit plusieurs voyages au lac Supérieur, et dirigea deux tentatives d'exploitation, l'une en 1772 dans la contrée d'Ontonagon, l'autre en 1773 sur la rive nord du lac. Ces travaux n'ont donné aucun résultat; mais il est important de constater que la première tentative d'exploitation des mines de cuivre a été faite par un Anglais.

Henry parle dans ses relations de voyages d'une masse de cuivre en évidence sur les bords de la rivière Ontonagon, et connue sous le nom de Copper-Rock. Elle a été transportée dernièrement à Washington devant le département de la guerre.

L'existence de l'argent natif n'avait pas échappé à la sagacité de Henry, qui la signale dans ses mémoires. — Après la prise de possession par les Américains, l'attention du gouvernement se porta vers ces régions, que les relations des voyageurs présentaient comme étant d'une richesse extraordinaire en cuivre et en argent. Deux explorations furent ordonnées successivement par le département de la guerre : l'une conduite par le général Cass, en 1819, l'autre sous la direction du major Long, en 1823.

Toutes les deux eurent pour objet l'étude des rives méridionales du lac Supérieur et les bords du Mississipi.

Les résultats obtenus ont été publiés dans le recueil

scientifique *American Journal of science*, en 1821 et en 1824.

Ces deux expéditions constatèrent l'existence du cuivre et de l'argent sur les bords du lac Supérieur, mais en même temps posèrent la conclusion que le pays était trop éloigné de toutes les contrées habitées pour que les mines pussent être exploitées immédiatement.

Le gouvernement des États-Unis n'a pas perdu de vue les richesses minérales du lac Supérieur ; convaincu que, par les chemins de fer, les canaux et la navigation à vapeur sur les grands lacs, les communications deviendraient faciles, il a conclu successivement plusieurs traités avec les tribus indiennes pour l'abandon de tous les terrains depuis le Saut-Sainte-Marie jusque bien au delà de Fond-du-Lac.

Ces traités sont datés de 1836, 1837, 1843, 1854 ; les trois premiers sont déjà mis à exécution ; on peut parcourir toute la partie maintenant explorée du lac Supérieur sans rencontrer un seul Indien.

En 1841, l'attention des Américains fut appelée sur les mines de cuivre de ce pays par M. Douglas Houghton, géographe de l'État de Michigan. Après avoir fait plusieurs explorations de la côte méridionale, ce savant distingué put présenter à la législation de l'État de Michigan, le 1er février 1841, un rapport esquissant les principaux traits de la contrée, démontrant sa richesse minérale et la nécessité de dresser les cartes géographique et géologique.

Chargé de ce travail important, il le dirigea de manière à faire en même temps les deux cartes ; mais il ne put malheureusement les achever : il périt dans une tempête sur les bords du lac, le 13 octobre 1847.

Après sa mort, la carte géographique fut achevée ; le gouvernement chargea de la carte géologique M. le

docteur Ch.-T. Jackson, et ensuite MM. J.-W. Foster et J.-D. Whitney, ayant sous leur direction de nombreux assistants. Les rapports et la carte ont été publiés en 1850 et 1851.

Depuis 1842, plusieurs compagnies américaines ont commencé des explorations, en vertu de permissions délivrées par le département de la guerre, sous la protection d'un détachement de troupes, établi au fort Wilkins, à Copper-Harbor, protection rendue bientôt inutile par l'abandon complet du pays par les Indiens.

Le nombre des explorateurs augmenta rapidement ; et quand le 6 mai 1846, le gouvernement se décida à supprimer les permis de recherche pour vendre les terrains par lots, à mesure que les travaux des cartes géographique et géologique étaient suffisamment avancés, plus de mille permis avaient été délivrés, et les recherches commencées sur neuf cent soixante et une parties.

Les travaux faits jusqu'en 1846 et même plus tard, entrepris au hasard, sans aucune connaissance du véritable mode de gisement du cuivre, avec la persuasion que ce métal était répandu partout en grande abondance, ont absorbé des sommes énormes, et n'ont donné d'heureux résultats que pour un très-petit nombre de compagnies.

La carte géologique, en délimitant exactement les terrains, en faisant connaître le mode de gisement du cuivre, en discutant les bons et les mauvais résultats obtenus, a permis de diriger les recherches avec plus de certitude, et a rendu un immense service aux exploitants. Il est maintenant possible de distinguer les filons qui méritent une exploration sérieuse, bien qu'il ne soit pas encore permis de reconnaître, aux caractères présentés par les affleurements des filons, ceux qui sont très-riches en cuivre dans la profondeur.

Au moment actuel, toutes les parties du terrain métallifère, c'est-à-dire celles dans lesquelles les filons peuvent être productifs, ont été vendues à des particuliers ou à des compagnies à un prix extrêmement minime, sous la condition de payer à l'État de Michigan 1 dollar, soit 5 fr. 25, par tonne de cuivre pur contenu dans les produits des mines en exploitation.

De nombreuses compagnies se sont mises sérieusement à l'œuvre, ont dépensé et dépensent encore des sommes considérables ; mais la plus grande partie des terres vendues par l'État est à peine explorée, et plusieurs compagnies, possédant de vastes étendues de terrains métallifères, se bornent à faire les travaux nécessaires pour constater l'existence des filons ; elles cherchent à les revendre à des prix élevés, soit à des sociétés américaines, soit à des sociétés étrangères.

La production du cuivre natif de toutes les mines du lac a dépassé deux mille tonnes en 1854, et très-probablement s'élèvera à plus de trois mille tonnes en 1855 : résultat qui doit surprendre vivement, si l'on considère les difficultés que présente l'exploitation dans un pays encore couvert de forêts vierges, si éloigné des contrées habitées, exploré depuis si peu de temps.

Publications faites sur le lac Supérieur.

Le lac Supérieur a été le sujet de plusieurs publications intéressantes, et qui m'ont été d'un grand secours pour le travail que j'ai entrepris. Je crois devoir en donner la liste :

Message du président des États-Unis aux deux chambres du Congrès, au commencement de la session du 31e Congrès. 24 décembre 1849.

Ce livre contient les journaux de voyage des géologues chargés, sous la direction de M. le Dr Jackson, de dresser la carte géologique, avec toutes les observations météorologiques et barométriques qui ont été faites ; il est accompagné par les cartes détaillées des différentes parties du lac Supérieur.

Rapport sur la géologie et la topographie d'une partie du lac Supérieur, par M. J.-W. Foster et J.-D. Whitney. — 1850 et 1851, avec les cartes de tout le lac.

On trouve dans ce rapport la description géologique détaillée de toute la partie américaine du lac, et des renseignements sur les principales mines en exploitation.

Lac Supérieur ; ses caractères physiques, sa végétation et sa Faune, par Louis Agassiz ; avec une Narration du voyage, par M. J. Elliot Cabot. — Boston, 1850.

Ce livre rend compte du voyage scientifique de M. L. Agassiz sur les côtes orientale et septentrionale du lac : il renferme des détails géologiques intéressants, principalement sur les phénomènes erratiques ; mais il ne contient aucun renseignement sur les mines de cuivre. Le but principal du voyage de M. Agassiz a été l'étude de la faune et de la flore du lac Supérieur, et sous ces deux points de vue son travail est complet et des plus remarquables.

La Richesse minérale des États-Unis, par M. J.-D. Whitney. — Philadelphie, 1854.

L'auteur fait connaître dans cet ouvrage l'état véritable de l'industrie minérale dans toute l'étendue de l'Union ; il met en évidence l'importance des différentes mines, et complète son travail par la comparaison des gisements de l'Amérique avec ceux des mêmes minerais en Europe (1).

Dans le voyage que je viens de faire au lac Supérieur,

(1) M. Logan vient d'achever une partie de la carte géologique du Canada, comprenant les rives anglaises du lac Supérieur. Cette carte et les nombreuses publications de M. Logan sur le même sujet présentent un intérêt très-grand, en mettant en évidence la relation des terrains du lac Supérieur avec ceux des contrées voisines.

j'ai pu parcourir presque toute la pointe de Keweenaw, depuis son extrémité jusqu'à la mine de Cliff-Mine, et la contrée d'Ontonagon dans toute la partie dans laquelle les mines sont exploitées activement. J'ai pu étudier assez complétement, dans un temps relativement très-court, les mines en exploitation, les travaux d'exploration commencés, et me faire une idée assez exacte de la disposition géologique des terrains. J'en suis redevable à la bienveillance et à l'activité infatigable de M. Stevens, qui m'a servi de guide dans toutes mes excursions, ainsi qu'à la complaisance des directeurs et ingénieurs des mines du lac Supérieur, qui m'ont facilité de tout leur pouvoir la visite de leurs travaux. Je les prie de recevoir ici mes remercîments les plus sincères.

La description que je donne de la situation géographique et géologique des différents modes de gisement du cuivre, des mines en exploitation, est le résumé de ce que j'ai vu, des renseignements que j'ai pris dans mon voyage, et de ce qui a été publié jusqu'à présent. Il m'aurait été impossible de distinguer ce que j'ai vu de ce que j'ai lu, sans entrer dans des discussions inutiles; mais je tiens à bien constater que j'ai fait de nombreux emprunts aux publications antérieures à la mienne, tout en conservant mon indépendance et ma façon particulière d'envisager les questions scientifiques et industrielles.

Division du mémoire.

Mon mémoire est divisé en quatre chapitres :

Dans le premier, j'expose la situation géographique du lac Supérieur.

Le second est consacré à la constitution géologique de la pointe de Keweenaw et de la contrée d'Ontonagon.

Le troisième contient la description des différents modes de gisement du cuivre et de l'argent.

Dans le dernier, je présente des considérations générales sur la situation des principales mines exploitées, et sur la production du lac Supérieur.

CHAPITRE PREMIER.

SITUATION GÉOGRAPHIQUE DU LAC SUPÉRIEUR.

Le lac Supérieur est situé entre le 46e et le 48e degré de latitude et les 84e et 92e degrés de longitude ouest. Il a près de 600 kilomètres de longueur de l'est à l'ouest; sa plus grande largeur, du nord au sud, atteint 267 kilomètres. Son niveau est plus élevé de 198 mètres que celui de l'Océan, et sa profondeur, assez irrégulière, dépasse 300 mètres en plusieurs points. Ses eaux, douces et parfaitement limpides, se maintiennent, même pendant l'été, à une température assez basse : elles contiennent des poissons excellents, dont la pêche fera probablement, dans un petit nombre d'années, la base d'un commerce actif. Pl. VI et VIII.

Le lac Supérieur est le plus septentrional, le plus élevé et le plus grand des lacs : Supérieur, Michigan, Huron, Érié, dont les eaux passent par la chute du Niagara dans le lac Ontario, et de là dans le fleuve Saint-Laurent.

Les hauteurs moyennes de ces différents lacs au-dessus du niveau de la mer sont :

Lac Supérieur.	198m,00
Lac Michigan.	182m,65
Lac Huron.	182m,64
Lac Érié.	178m,54
Lac Ontario.	73,m31

Les deux lacs Supérieur et Huron communiquent par un canal assez large, parsemé d'îles nombreuses, et désigné sous le nom de rivière Sainte-Marie. Elle Sainte-Marie.

présente, auprès de la ville du Saut-Sainte-Marie, des rapides qui interrompent la navigation, et que les Canadiens se hasardent seuls à descendre dans des pirogues en écorce. Au-dessus des rapides, le courant de la rivière est peu sensible, mais au-dessous il est très-fort dans les endroits où les rives sont rapprochées. Les grands navires à vapeur éprouvent des difficultés à suivre le chenal souvent peu profond, et touchent assez fréquemment sur le sable.

La ville du Saut-Sainte-Marie, située au pied des rapides, est bâtie sur l'emplacement d'un ancien village indien et de la Mission des jésuites, nommée Sainte-Marie-du-Sault. Elle doit son importance à l'activité des explorations de mines et à sa position, qui lui permet de servir d'entrepôt entre les ports du lac Érié et Détroit et le lac Supérieur.

Tous les objets nécessaires à la vie et aux travaux des mines arrivent au Saut-Sainte-Marie, et sont transportés par terre, sur un chemin de fer, jusqu'au-dessus des rapides, et là sont embarqués sur les navires à vapeur qui font le service du lac Supérieur. De même les produits des mines sont déchargés au-dessus des rapides, et sont amenés par le chemin de fer jusqu'aux quais de la ville. Le chemin de fer a plus de 1,600 mètres de longueur, et rend les transports assez économiques, mais le chargement et le déchargement aux deux extrémités sont extrêmement onéreux. Cette condition défavorable va bientôt cesser : une compagnie anglaise, propriétaire de vastes terrains dans la région métallifère du lac, a construit un canal long de 1.600 mètres, avec une seule écluse, dont les dimensions sont appropriées aux proportions gigantesques des bateaux à vapeur des lacs. Dès le mois de juin 1855, le canal doit être ouvert à la navigation et permettra aux grands navires du lac Érié de pénétrer jusqu'aux ports de la pointe de Keweenaw. Il en résultera pour les entreprises de mines une impulsion très-vive, non-seulement par l'abaissement des frais de transport, mais encore et surtout par la plus grande activité de la navigation. Les arrivages seront faciles, tandis que maintenant ils sont fort incertains et très-irréguliers.

Makinaw.

Les deux lacs Huron et Michigan, dont le niveau est sensiblement le même, communiquent entre eux par le large détroit de Makinaw. La navigation à vapeur et à voiles est extrêmement active sur ces deux lacs, bien que leurs bords soient presque inhabités.

Entre Chicago, au fond du lac Michigan, et les ports du lac Érié, les navires de toute dimension font une concurrence heureuse au chemin de fer, preuve bien évidente du développement inouï que prennent les défrichements dans l'Ouest.

Détroit.

La rivière de Détroit, assez large et profonde, réunit le lac Huron au lac Érié : son courant est peu rapide, en raison de la faible différence de niveau des deux lacs. Vers le milieu de la rivière, le lac Saint-Clair présente de grands obstacles à la navigation. Ses eaux sont peu profondes, et dans les passes tortueuses et difficiles les bâtiments ne rencontrent pas plus de 2 à 3 mètres d'eau. Il faut ajouter encore que le chenal est assez mal indiqué et souvent obstrué par des centaines de navires.

Les grands bateaux à vapeur, jaugeant deux mille tonneaux et plus, qui naviguent entre les ports du lac Érié, le Saut-Sainte-Marie et Chicago, s'échouent très-fréquemment dans le lac Saint-Clair ; ces accidents sont peu dangereux en raison de la nature du fond (sable très-peu argileux) ; mais ils causent des pertes de temps considérables.

Le mouvement commercial de l'ouest occupe plu-

sieurs milliers de navires, tandis que le chemin de fer qui traverse le Canada, de Buffalo et Niagara à Détroit, et le grand chemin de l'ouest de Détroit à Chicago, transportent trois fois par jour des centaines de voyageurs.

Chemins de fer.

Le chemin de Détroit à Chicago est déjà prolongé au delà de cette ville, et s'avance constamment vers les bords du Pacifique, qu'il doit atteindre un jour, bientôt peut-être, si l'on en croit l'impatience des pionniers américains. On parle aussi d'un projet d'embranchement vers le nord, à travers le Wisconsin, jusqu'à la ville d'Ontonagon, sur la rive méridionale du lac Supérieur.

Si l'on réfléchit à ce que les Américains ont déjà fait pour la navigation à vapeur, les chemins de fer et les canaux, on ne peut traiter de chimères ces projets gigantesques; on doit croire au contraire qu'ils seront prochainement mis à exécution.

Les chutes de Niagara, justement célèbres comme les plus grandioses qui existent dans le monde, opposent un obstacle infranchissable à la navigation entre les lacs Erié et Ontario. La communication directe n'a du reste aucune importance, car des voies de transport économiques et rapides, des canaux à large section et des chemins de fer relient Buffalo et Cleveland aux villes de l'intérieur et du littoral.

Routes de New-York au lac Supérieur.

Pour aller de New-York au lac Supérieur on peut suivre deux routes différentes, qu'il me paraît intéressant d'indiquer sommairement.

La route la plus courte passe par Dunkirk et Cleveland; la distance de New-York à Cleveland est de 947 kilomètres; elle peut être franchie en chemin de fer, en vingt-six heures, pour la somme de 66 fr. 25 c.

De Cleveland à Détroit et au Saut-Sainte-Marie, on compte 667 kilomètres; les bateaux à vapeur, ces palais

flottants, comme les appellent les Américains, emploient ordinairement deux jours pour le trajet, sauf les cas d'échouage, d'incendie ou autres accidents.

Du Saut-Sainte-Marie aux ports du lac Supérieur, la distance varie de 350 à 500 kilomètres. On peut les parcourir en moins de deux jours.

Le prix du passage sur les bateaux à vapeur, nourriture comprise, est très-peu élevé; on peut se rendre de Cleveland à Ontonagon pour une centaine de francs.

D'après cela, en supposant les circonstances les plus favorables, en admettant qu'on ne soit pas obligé d'attendre les départs des bateaux, on peut aller de New-York à Ontonagon, au fond du lac Supérieur, en cinq jours, et pour une somme inférieure à 200 francs.

Une seconde route, un peu plus longue mais plus pittoresque, doit être préférée par les voyageurs que des affaires pressantes ne forcent pas à se hâter. Ils doivent s'embarquer à New-York sur les bateaux à vapeur de l'Hudson, jusqu'à Albany, passer ensuite d'Albany à Buffalo, Niagara et Détroit, par le chemin de fer, et enfin s'embarquer dans cette dernière ville sur les bateaux des lacs.

La distance totale à parcourir par cette route est d'environ 200 kilomètres plus longue; il faut deux jours de plus (1) que par la première route indiquée; mais on peut admirer Buffalo, la reine du lac Érié, les chutes du Niagara et le pont suspendu, d'une hardiesse extraordinaire, sur lequel les trains du chemin de fer vont traverser la rivière à 66 mètres au-dessus de l'eau.

---

(1) En supposant qu'on s'arrête pour visiter Buffalo et les chutes du Niagara : autrement, le temps strictement nécessaire est le même pour les deux routes.

Pour les machines et les marchandises, la voie la plus économique est celle de l'Hudson, du canal de Buffalo et les lacs Érié, Huron et Supérieur. Le fret est assez élevé, et dépend de la nature des objets qu'il s'agit de transporter. Pour le cuivre, d'Ontonagon à New-York, le prix du transport est de 77 francs par tonne; il est de 79 fr. 50 c. pour Boston. Ces prix seront notablement diminués par l'ouverture du canal du Saut-Sainte-Marie; on évalue à 58 et 61 francs par tonne les frais de transport du cuivre à New-York et Boston pour la saison de 1855.

Ces chiffres prouvent que les entreprises de mines au lac Supérieur sont dans une assez bonne condition pour le transport de leurs produits; le cuivre a une valeur assez grande pour supporter 60 francs par tonne pour le transport de la mine au marché.

La position des compagnies est au contraire très-difficile pour les matières de première nécessité et pour les machines qu'elles doivent faire venir de Détroit, Cleveland, Chicago et New-York. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, le foin pour les chevaux et les bœufs provient de Détroit, et la farine est expédiée de Cleveland et de Chicago.

Il convient encore d'observer que la saison pendant laquelle la navigation peut être régulière ne dure pas plus de quatre à cinq mois, et que trop souvent les bateaux à vapeur, par suite d'échouages, sont obligés de jeter à l'eau tout ou partie de leur chargement : il en est résulté déjà plusieurs fois des retards de plus d'une année dans l'arrivée des machines, destinées à l'épuisement ou aux ateliers de préparation mécanique.

Géographie.

Je donnerai peu de détails sur la géographie du lac Supérieur, suffisamment indiquée par la carte de MM. Foster et Whitney. (Voy. Pl. VI.)

Les deux promontoires Gros-Cap et Pointe-aux-Iroquois forment les colonnes d'Hercule du grand lac, et marquent l'entrée de la rivière Sainte-Marie; sur la rive méridionale appartenant aux États-Unis, on doit remarquer principalement :

Le promontoire de White-Fish-Point, avec ses terrasses de sables et d'alluvions;

Les falaises de grès rouge et de grès blanc, voisines de Grand-Island, auxquelles leur apparence bariolée, résultant des alternances de couches de grès de couleurs différentes, a fait donner le nom de Pictured rocks;

La baie de Chocolate-River, près de laquelle se trouvent d'immenses dépôts de minerais de fer, exploités avec quelque activité;

La baie très-profonde, nommée Keweenaw-Bay, au nord de laquelle sont les terrains métallifères;

La langue de terre dite Keweenaw-Point, séparée presque complétement de la terre ferme par le lac du Portage;

Les montagnes élevées, Porcupine Mountains, à l'ouest de la rivière d'Ontonagon, et enfin les îles nombreuses qui environnent la pointe *Detour*, et dont le port principal a été le siége d'une ancienne mission des jésuites.

Toute la partie occidentale depuis le fond du lac jusqu'aux possessions anglaises, qui commencent à *Pigeon-River*, est à peine explorée; elle appartient à l'État de Minnesota, et les traités avec les tribus indiennes, pour l'abandon du territoire, datent seulement de 1854.

La côte septentrionale est bien plus accidentée que la rive américaine; elle présente des îles nombreuses, des baies très-profondes, et des montagnes très-élevées qui s'avancent dans le lac.

Enfin vers l'est le rivage n'offre que des baies ouvertes, dans lesquelles les navires ne pourraient pas trouver un refuge contre les tempêtes.

Deux îles, Michipicoten et île Royale, méritent de fixer l'attention : toutes les deux sont marquées sur l'ancienne carte des PP. jésuites, et désignées par eux, d'après les traditions indiennes, comme étant d'une grande richesse en cuivre natif. Ce fait n'a pas été vérifié par les explorations récentes, car les travaux sont presque abandonnés dans l'île anglaise (Michipicoten), et l'île Royale ne produit pas annuellement 40 tonnes de cuivre.

L'île Royale, plus rapprochée du Canada que de la côte méridionale, appartient à l'État de Michigan; elle est placée en regard de la pointe de Keweenaw, et présente avec elle de grandes analogies de constitution géologique. Elle possède des baies profondes et bien abritées, des ports vastes et sûrs, à ses deux extrémités et sur la côte méridionale, tandis que vers le nord le rivage est peu accidenté et présente des falaises escarpées.

Bien des filons, contenant des minerais de cuivre, du cuivre et de l'argent natifs, ont été constatés près des rives anglaises et américaines et dans les deux îles désignées précédemment; cependant l'activité des exploitations est concentrée à la pointe de Keweenaw et dans la contrée d'Ontonagon. Ce sont les deux parties du lac Supérieur qui présentent maintenant le plus grand intérêt industriel; ce sont celles qu'il importe le plus de visiter, et celles que je décrirai plus spécialement.

Des ports, des villes et des villages.

Il est assez curieux de constater la situation des villes et des villages établis sur la côte méridionale du lac Supérieur, à des distances comprises entre huit cents et mille kilomètres de Détroit, qui est maintenant la grande ville civilisée la plus rapprochée.

En suivant la côte de l'est à l'ouest, et partant de l'extrémité de la pointe de Keweenaw, on rencontre successivement les ports, les villes et les villages de Copper-Harbor, Agate-Harbor, Eagle-Harbor, Eagle-River, Portage, Elm et Misery-River, Ontonagon, Pewaric et la Pointe.

Copper-Harbor.

Copper-Harbor est un port assez vaste, bien abrité contre les vents du nord, du nord-ouest et du nord-est, qui soufflent trop fréquemment avec une violence inconcevable : son entrée est indiquée par un phare dont le feu peut être aperçu pendant la nuit à la distance de six à sept kilomètres.

En face l'entrée se trouve le fort Wilkins, élevé en 1844 pour le détachement de soldats destinés à protéger des Américains contre les Indiens : il est maintenant abandonné, depuis que les Peaux-Rouges ont quitté le pays.

Un petit village a été construit au fond du port, et les habitants ont commencé les défrichements : son importance deviendrait très-grande en très-peu de temps, si les filons reconnus dans la contrée voisine devenaient le siége d'une exploitation active.

Copper-Harbor est maintenant le seul port habité de toute la côte, depuis *la Pointe*, dans lequel les navires peuvent trouver un abri contre la tempête : il a par suite le grand avantage d'avoir sa communication assez régulière avec le Saut-Sainte-Marie pendant toute la durée de la navigation, depuis le mois de mai jusqu'à la fin du mois de novembre.

Agate-Harbor.

La baie de Agate-Harbor pourra devenir un très-beau port, son entrée est facile; l'eau est profonde jusqu'au rivage dans toute son étendue; plusieurs fois déjà les navires ont pu s'y réfugier pendant les gros temps, et débarquer facilement leurs passagers. Les

forêts vierges s'avancent jusqu'aux bords du lac, et les défrichements, à peine commencés par une compagnie américaine, n'ont encore aucune importance.

L'exploration de plusieurs filons de cuivre a été commencée à une faible distance d'Agate, et si les travaux sont poussés activement et conduisent à une exploitation fructueuse, la baie d'Agate verra bientôt s'élever une ville qui rivalisera avec celles de Eagle-Harbor et Eagle-River.

Dans un pays où la main-d'œuvre est aussi chère, sous un climat aussi rude que celui du lac Supérieur, le défrichement des terres fertiles ne peut suffire pour attirer les habitants; l'exploitation active des mines de cuivre peut seule déterminer la création d'une ville.

Aussi voit-on les deux véritables ports de la côte méridionale, Copper-Harbor, Agate-Harbor, le premier à peine habité et le second complétement désert, tandis que des villes assez florissantes sont établies à Eagle-River et Ontonagon, là où les navires sont exposés à toutes les fureurs des tempêtes.

L'aspect que présentent les établissements du littoral indique immédiatement l'importance des mines exploitées dans la contrée voisine.

Eagle-Harbor. Le port de Eagle-Harbor est petit et mal abrité contre les vents du nord : une ville déjà importante existe sur ses bords, et doit son accroissement rapide au développement qu'ont pris les travaux dans les mines de Copper-Falls, North-Western, North-West, etc...

Eagle-River. La ville qui porte ce nom est construite au bord du lac, à l'embouchure de la rivière dite *Eagle-River;* elle compte déjà plus de mille habitants et son importance augmente tous les jours : elle sert d'entrepôt aux plus riches mines du lac, Cliff-Mine et North-American-Mine. La rivière n'est pas navigable et la côte ne présente aucun abri aux navires : les chargements et déchargements sont faits sur une jetée, construite sur pilotis, perpendiculairement au rivage : aussi, dès que le vent soulève les eaux du lac, les navires doivent prendre le large et chercher un abri à Copper-Harbor, ou vers l'ouest à la Pointe. Malheur aux bâtiments qui ne se hâtent pas suffisamment; ils sont jetés à la côte et ne peuvent plus ensuite que très-difficilement être remis à flot (1).

La jetée en bois est assez souvent détruite par les vagues; le fait est arrivé pendant mon séjour au lac Supérieur, le 5 octobre 1854, dans un coup de vent qui a duré deux jours. Il en résulte pour Eagle-River une grande irrégularité dans les communications avec le Saut-Sainte-Marie, au commencement et à la fin de la saison. Les mines ne peuvent compter, pour les arrivages et pour les expéditions, que sur les mois de juin, juillet, août et septembre : circonstance défavorable, mais largement compensée par la richesse exceptionnelle du filon exploité par les deux compagnies de Cliff et de North-American.

Portage, etc. Portage, Elm, Misery-River, etc., sont des petits villages placés dans les mêmes conditions défavorables que Eagle-River, et correspondent à des mines exploitées avec peu d'activité.

Ontonagon. La ville d'Ontonagon, bâtie à l'embouchure de la rivière du même nom, est la plus importante de toutes celles du lac Supérieur; le nombre de ses habitants dépasse quinze cents, et plusieurs maisons présentent déjà le confortable, si rare dans les contrées récemment habitées.

---

(1) Le navire à hélice, *Peninsula*, s'est perdu à Eagle-River au mois de novembre 1854.

La rivière est navigable pour les bateaux plats jusqu'à la distance d'environ trente kilomètres au sud de la ville : mais la navigation est rendue dangereuse par plusieurs rapides. Au bord du lac une barre de sable empêche les navires d'un certain tonnage d'entrer dans la rivière, et la côte ne présente aucune baie dans laquelle les bâtiments puissent se réfugier : ils doivent charger et décharger, comme à Eagle-River, sur une jetée en bois avançant de plus de deux cents mètres dans le lac.

L'importance que la ville d'Ontonagon doit aux exploitations nombreuses faites dans la contrée voisine, augmenterait beaucoup si le grand projet de chemin de fer dont j'ai parlé précédemment était mis à exécution.

La Pointe. Je n'ai pas eu l'occasion de visiter la Pointe, cette ancienne mission des jésuites, dont le port sert constamment de refuge aux navires pendant la tempête.

Climat du lac Supérieur. Le climat du lac Supérieur est très-rude pendant l'hiver : cette saison commence au mois d'octobre et ne se termine que vers le mois de mai : pendant plusieurs mois le thermomètre se maintient au-dessous de 20° centigrades, et dans les coups de vent du nord la température s'abaisse jusqu'à la congélation du mercure. Les eaux du lac gèlent sur une grande épaisseur, mais la glace est souvent brisée par les tempêtes, et les glaçons sont amoncelés sur le rivage en véritables montagnes. La neige couvre la terre pendant des mois entiers, et permet aux habitants de franchir de grandes distances à l'aide de raquettes (1).

(1) Les raquettes sont de longs patins faits avec du bois et des cordes à boyaux : ils permettent aux pieds de s'appuyer sur une très-large surface.

Le traînage n'est possible que sur les routes déjà tracées : dans les forêts les accidents de terrain et les arbres tombés sont trop nombreux pour qu'on puisse passer autrement qu'à pied.

Le printemps est très-court et dure à peine un mois ; il est marqué par de violentes tempêtes qui rendent la navigation du lac très-dangereuse : la fonte des neiges et la chute des arbres empêchent souvent les communications par terre d'une ville à l'autre.

Pendant l'été (fin de juin, juillet et commencement d'août), le soleil a une force très-grande ; la chaleur est insupportable parfois vers le milieu du jour, mais les nuits sont presque toujours fraîches ; les moustiques et les mouches noires font une guerre acharnée aux hommes et aux animaux : les mouches noires disparaissent au mois d'août, les moustiques deviennent en même temps moins incommodes, mais persistent jusqu'à la fin de septembre.

L'automne est au lac Supérieur, comme dans tout le nord de l'Amérique, la plus belle saison de l'année : les journées sont belles, et la chaleur est très-supportable pendant tout le mois de septembre ; les nuits sont de plus en plus froides, et quelquefois le thermomètre descend au-dessous de zéro. Au mois d'octobre la fin de l'automne est marquée par des tempêtes violentes et par de grandes pluies, auxquelles succède bientôt la neige. On peut encore voyager à la fin d'octobre et même en novembre, mais la navigation est irrégulière et dangereuse ; les bâtiments à vapeur ne peuvent souvent pas toucher aux villes de Eagle-River et d'Ontonagon, dépourvues de ports abrités.

Végétation. — Toute la contrée est couverte de forêts vierges, dans lesquelles les défrichements pénètrent avec lenteur : les arbres résineux dominent dans les

parties montagneuses, et presque partout élèvent leur sombre feuillage au-dessus des cèdres, des bouleaux, des frênes, des érables, etc., plus abondants dans les vallées. Le sol paraît très-fertile sur la plus grande partie de la contrée, et déjà plusieurs compagnies de mines ont commencé les défrichements et cultivé avec succès le seigle, les pommes de terre, les betteraves, et des légumes divers.

Presque tous les objets de première nécessité, le foin, la farine, le maïs, les œufs, les pommes, sont amenés par les bateaux à vapeur de Cleveland, de Détroit ou même de Chicago. L'herbe manque entièrement dans les forêts, et nulle part encore on n'a fait des prairies artificielles : aussi la nourriture des chevaux, des moutons est-elle très-difficile.

Les forêts renferment très-peu de gibier : les seuls animaux qu'on rencontre un peu fréquemment sont les écureuils gris; pendant l'hiver on peut chasser les aigles, les loups et les ours.

Pour le climat, le lac Supérieur se rapproche beaucoup du midi de la Suède, bien que la latitude soit à peu près celle du nord de la France : la température moyenne de Copper-Harbor est de 41°,45 (Fahrenheit), soit + 5°,25 centigrades.

Changements dans le niveau des eaux. — Les grands lacs de l'Amérique du Nord n'ont pas de marées sensibles, mais leur niveau présente des variations, lentes ou brusques, sur lesquelles il me paraît intéressant de donner quelques détails.

Action du vent.

Dans les tempêtes violentes, pendant lesquelles le vent souffle du même côté durant deux ou trois jours, le niveau de l'eau s'élève de plus d'un mètre au-dessus de sa hauteur habituelle, et redescend graduellement à mesure que la pression du vent devient plus faible.

Cette élévation ne peut pas être constatée sur les côtes non abritées, par suite de la hauteur des vagues énormes qui déferlent sur la plage, ou viennent se briser contre les rochers; mais elle est facile à observer dans les ports et dans les baies profondes, dans lesquelles la surface de l'eau reste peu agitée. J'ai été témoin de ce phénomène à Copper-Harbor, le 3 octobre 1854; à la suite d'un coup de vent du N. E. au N. O., le niveau de l'eau s'est élevé de plus d'un mètre, auprès du quai dans le fond du port. Les habitants m'ont assuré que dans les tempêtes plus violentes encore l'eau a monté de plus de deux mètres sous la pression du vent.

J'ai observé le même fait sur le lac Huron, à bord du vapeur *Illinois*, échoué près du phare de l'île de Thunder-Bay, et pendant un coup de vent moins fort; le navire put se remettre à flot, après deux jours d'échouage, grâce à l'élévation rapide du niveau de l'eau et à l'action du vent sur sa coque inclinée.

Je n'ai pas pu m'assurer que sur la côte opposée on observe un abaissement correspondant, fait très-important, qui prouverait que le phénomène est général et n'est pas seulement particulier aux baies et aux ports placés sous le vent.

Variations brusques.

Les missionnaires jésuites et toutes les personnes qui ont passé un temps assez long sur les bords des grands lacs, ont décrit un phénomène, jusqu'à présent inexpliqué, la variation brusque et momentanée du niveau de l'eau sur les côtes, pendant des temps très-calmes. Deux ou trois vagues, élevées de 2 mètres et même davantage, se forment subitement à une certaine distance du rivage et viennent se briser contre les rochers ou couvrir d'eau de vastes étendues de terrain. Ces faits sont constatés pour les lacs Érié, Huron, Michigan, Supérieur, par les missionnaires

jésuites, par le gouverneur Clinton, par Mackensie, par le général Cass, par le professeur Mather, par MM. Foster et Whitney, par plusieurs anciens habitants du saut Sainte-Marie; on doit par conséquent les considérer comme parfaitement établis, quoique aucune explication satisfaisante n'ait été donnée.

On trouvera la description détaillée de tous les faits observés à cet égard dans l'ouvrage de MM. Foster et Whitney; je citerai seulement et sans détails les observations qui me semblent les plus curieuses.

Le gouverneur Clinton rapporte que le 30 mai 1823, par un temps calme et très-clair, et peu d'instants après le coucher du soleil, on a vu trois vagues, hautes de plus de trois mètres, envahir tout le rivage, depuis Otter jusqu'à Kettle-Creek, sur la côte anglaise du lac Érié, et se retirer rapidement.

Au saut Sainte-Marie, la rivière est large de plus de 1.600 mètres, et la profondeur d'eau sur les rapides est d'environ $0^m,85$. Dans l'été 1834, on a vu l'eau se retirer complétement et laisser les rochers à découvert, sur toute la largeur du canal; pendant une heure entière, des habitants purent aller prendre les poissons restés dans les flaques d'eau entre les rochers. L'eau revint brusquement en une vague immense et furieuse, devant laquelle les hommes eurent à peine le temps de se sauver.

Le même phénomène s'est renouvelé deux fois dans la même journée et par un temps très-calme, à la fin du mois d'avril 1842.

Au lac Supérieur, MM. Foster et Whitney ont observé plusieurs fois, près des côtes, des vagues énormes s'avancer vers le rivage, lorsque la surface du lac était parfaitement calme, et le vent à peine sensible: l'eau du lac reprenait ensuite sa tranquillité. A la suite de

ces brusques variations de niveau, les deux savants géologues mentionnent toujours des tempêtes très-violentes, ce qui les conduit à penser que des changements rapides de la pression atmosphérique ne sont pas étrangers à ce phénomène. Il semble cependant difficile de concevoir une diminution partielle de la pression de l'air assez forte pour déterminer l'élévation de l'eau à 3 mètres au-dessus de son niveau.

Variations annuelles.

Dans les différents lacs, qui communiquent entre eux par des canaux, dont la largeur est sensiblement constante, on observe des variations annuelles et périodiques, dans le niveau des eaux. On peut les expliquer assez facilement par les différences dans les quantités relatives de pluie tombée au nord et au sud. Le climat du lac Supérieur est assez différent de celui du lac Érié pour que l'été puisse être sec dans l'un et pluvieux dans l'autre.

L'étude complète des phénomènes que je viens d'exposer sera d'un grand intérêt scientifique; elle ne pourra être abordée sérieusement que dans un avenir assez éloigné, quand les bords des lacs seront habités, et quand des observations régulières et complètes auront été recueillies.

Mirage. — Pendant tout l'été, lorsque l'atmosphère n'est pas agitée par des vents violents, l'air se trouve à une température très-différente, au-dessus de la terre échauffée par le soleil, et au-dessus de l'eau, qui reste toujours assez froide. Ces différences donnent lieu à des réfractions très-fortes, qui apportent de grandes difficultés aux observations astronomiques, et donnent lieu à des effets de mirage extrêmement curieux.

On peut expliquer également par des réfractions atmosphériques un singulier phénomène dont j'ai été

témoin le 16 octobre 1854, à l'entrée de la rivière Sainte-Marie. Au moment où le soleil allait disparaître, ses rayons tombant sur une raffale de neige, me firent apercevoir un arc-en-ciel de forme elliptique parfaitement déterminée. Le rapport du grand axe vertical au petit axe horizontal était de 5 : 3. L'arc-en-ciel a persisté pendant plusieurs minutes, et il a été observé par tous les passagers du bateau à vapeur.

Aurores boréales. — Les aurores boréales sont très-fréquentes pendant l'hiver et ne sont pas rares pendant l'été ; cependant elles ne sont jamais aussi belles dans cette dernière saison, et leur éclat est en général très-peu prononcé.

CHAPITRE II.

DISPOSITION GÉOLOGIQUE DES TERRAINS DU LAC SUPÉRIEUR.

La carte d'ensemble du lac Supérieur, publiée en 1850, par MM. Foster et Whitney, et les cartes de détails ont été dressées à la suite des explorations faites pendant trois années consécutives, 1847, 1848, 1849.

On doit être étonné qu'un aussi court espace de temps ait suffi aux géologues, chargés par le gouvernement de cette mission importante, pour poser exactement les limites des terrains et pour faire connaître assez exactement les zones dans lesquelles se trouvent les gisements de cuivre.

Il faut en effet se rendre compte des difficultés presque insurmontables qu'on rencontre à chaque instant dans un pays entièrement couvert de forêts vierges, dans lequel la température s'abaisse parfois pendant l'hiver jusqu'à la congélation du mercure.

Les parties voisines des côtes et des établissements

de mines peuvent être explorées avec une facilité comparativement assez grande ; mais dans l'intérieur du pays, loin des habitations, il n'est possible d'entreprendre que des excursions très-courtes, et toujours pénibles.

En outre, les terrains sont recouverts presque partout par une épaisseur assez grande de terre végétale, et par des alluvions dont la puissance dépasse fréquemment vingt mètres. — La nature des roches n'est en évidence que sur les sommets des montagnes, ou sur les bords de certaines rivières qui coulent dans des vallées profondes.

Ces circonstances se retrouvent sans doute dans la plupart des pays, en Europe comme en Amérique, mais au lac Supérieur elles sont rendues bien plus embarrassantes par les difficultés de la vie matérielle dans des forêts inhabitées.

Les trois parties les mieux connues sont : la Pointe de Keweenaw, la contrée d'Ontonagon et l'Ile-Royale ; dans les deux premières, les mines sont explorées très-activement, quelques-unes donnent des bénéfices considérables ; l'Ile-Royale a maintenant presque entièrement perdu l'importance que les relations des anciens voyageurs lui avaient donnée dans le commencement des entreprises ; de tous les travaux ouverts il y a cinq ou six années, il ne reste plus que deux mines en activité.

Il en résulte que c'est à la Pointe de Keweenaw et dans la contrée d'Ontonagon, que les excursions peuvent être faites le plus facilement et avec le plus de fruit.

Pour exposer aussi clairement que possible la disposition des terrains, je décrirai d'abord les différentes parties du pays, je reviendrai ensuite sur la composition des roches principales et sur les alluvions, qui for-

meraient elles seules un vaste sujet d'études intéressantes.

§ I. — *Disposition générale des terrains.*

La carte d'ensemble de MM. Foster et Whitney s'étend vers le sud jusqu'aux bords du lac Michigan, vers l'est, au delà du saut Sainte-Marie ; vers le nord, elle indique la composition des terrains qui forment la côte anglaise ; à l'ouest, elle s'arrête aux limites de l'État de Wisconsin. La zone qui sépare les deux lacs, Supérieur et Michigan, présente la partie supérieure des terrains qui existaient sur toute la superficie, occupée maintenant par le grand lac, avant les soulèvements et les bouleversements, qui ont produit le relief actuel de la contrée.

Elle est formée en partie de calcaire magnésien, appartenant à l'époque silurienne inférieure, reposant sur des grès blancs et rouges. Sur la rive méridionale du lac Supérieur, le grès apparaît seul, en couches sensiblement horizontales, et présente en plusieurs points des escarpements très-élevés, avec des alternances des couches de couleurs différentes. Le point le plus remarquable est situé près de Grand-Island ; son aspect pittoresque lui valut le nom de *pictured rocks*, déjà célèbre en Amérique.

Le granite et les roches métamorphiques forment la plus grande partie de la côte orientale, et deux massifs considérables, l'un au nord du lac, très-voisin du rivage, l'autre au sud de la pointe de Keweenaw, depuis la Chocolate river jusque dans le Wisconsin.

Granite et roches métamorphiques.

Le granite et les terrains métamorphiques situés à l'est, dans le Canada, sont jusqu'à présent très-peu connus; il en est de même du massif du nord, dont la partie voisine

du lac est seule tracée. Quant au massif du sud, il a été parcouru dans la plus grande partie de son étendue, et ses limites sont exactement marquées sur la carte.

Sa direction générale est N 70° E, — sensiblement parallèle aux chaînes de montagnes de l'Ile-Royale, et à la direction du massif granitique du nord, il présente une série de montagnes arrondies, élevées de 300 à 400^{m}. au-dessus du niveau du lac, et séparées par des vallées peu profondes. Il est recouvert en grande partie par des roches que les géologues américains considèrent comme métamorphiques, par des gneiss, des micaschistes, des quarzites, du jaspe et des roches amphiboliques.

Des masses considérables de fer oxydé sont enclavées dans ces terrains, et paraissent se continuer jusqu'au contact du granité. Elles sont exploitées depuis plusieurs années avec une certaine activité, et quelques fourneaux ont été construits à peu de distance des rivières nommées Chocolate-River et Carp-River.

Le massif granitique est entouré par des grès, qui sont relevés de tous côtés jusqu'à une certaine distance, bien que sous un angle assez faible, et qui paraissent avoir été brisés et soulevés par le granite.

Au nord de l'Ile-Royale, dans le Canada, le granite forme des montagnes élevées de 500 et 600^{m}. au-dessus du niveau du lac, et a produit dans les terrains soulevés des dislocations beaucoup plus fortes que celles observées au Sud.

Trapp, conglomérats et grès.

L'Ile-Royale est formée de trapp, de conglomérat et de grès, disposés en bancs puissants et en couches rigoureusement parallèles, dirigés de N 65° E à S 65° O, et plongeant vers le Sud sous un angle très-faible, de 8 à 10° avec l'horizontale.

La côte américaine, comprenant : la Pointe de Ke-

weenaw, la région voisine du lac du Portage, et la contrée d'Ontonagon renferme des trapps, des conglomérats et des grès, également en bancs et en couches parallèles entre eux, plongeant vers le nord et vers le nord-ouest sous un angle variable de 25 à 55°.

Entre le trapp, qui se présente en montagnes assez élevées, depuis l'extrémité de la pointe de Keweenaw jusque dans l'État de Wisconsin, et le grand massif granitique du sud se trouve une vaste formation de grès, arrivant vers l'Est jusqu'aux bords du lac, terminée à l'ouest par le trapp. Dans cette partie, le grès est presque partout en couches sensiblement horizontales, mais se relève avec une inclinaison variable au contact du trapp, du granite et des roches métamorphiques. Des lambeaux de calcaire magnésien ont été constatés à l'ouest de la baie de Keweenaw; leur présence démontre l'identité des grès de la Pointe de Keweenaw avec ceux de la rive méridionale.

Les alluvions, comprenant : des galets et graviers, des argiles et des sables, couvrent la plus grande partie de la contrée ; elles contiennent des blocs erratiques qui assignent à leur formation une époque peu reculée.

Enfin à l'est, l'île Michipicoten est presque entièrement composée de trapp, analogue à celui de la Pointe de Keweenaw, et dans lequel on a constaté la présence du cuivre natif et des minerais de cuivre en filons.

Je vais maintenant considérer avec plus de détails les parties les mieux explorées et les plus importantes par l'énorme richesse en cuivre qu'elles contiennent; la pointe de Keweenaw, la contrée d'Ontonagon et l'Ile-Royale.

Pl. VII. *Pointe de Keweenaw.*—On nomme *pointe de Keweenaw* la langue de terre qui s'avance vers le milieu de la côte méridionale du lac, en formant une courbe dont la

convexité est tournée vers le nord. Elle est presque séparée de la terre ferme par le lac Portage, dont la position, entre le fond de la baie de Keweenaw et la côte au nord indique une cassure transversale de tous les terrains. La constitution géologique est du reste la même des deux côtés de ce lac étroit, et les différences que présentent entre elles la pointe de Keweenaw et la contrée d'Ontonagon ne paraissent avoir aucune relation avec cette séparation purement géographique.

La nature des terrains qui composent la Pointe de Keweenaw, vers son extrémité orientale, peut être observée plus nettement que dans les autres parties de la contrée, par suite de l'absence presque complète des alluvions, absence qui peut être attribuée à une dénudation partielle.

Deux chaînes de montagnes, parallèles et peu distantes, toutes deux composées de trapp plus ou moins cristallin, marquent l'axe central de la Pointe. La plus importante au point de vue géologique, les *Bohemian mountains*, s'étend sans interruption depuis l'extrémité orientale jusqu'au lac de Portage, et de là vers l'Ouest, jusque bien au delà de l'Ontonagon. C'est suivant sa direction qu'a dû se faire le soulèvement de tous les terrains.

L'autre, située au nord de la première, court parallèlement à la côte, de l'extrémité de la Pointe à la mine Albion; ce n'est qu'une bande particulière de la formation trappéenne, et l'intérêt qu'elle présente est purement local. Elle est, à la Pointe de Keweenaw seulement, l'horizon le plus remarquable par les exploitants ; reconnue peu métallifère, elle sépare les deux zones de trapp dans lesquelles les filons sont riches en cuivre.

Au sud des Bohemian mountains, le grès s'appuie

sur le trapp et plonge vers le sud sous un angle assez fort, mais qui devient de plus en plus faible, à mesure que la distance au trapp est plus grande.

Au nord, on rencontre d'abord des bandes de trapp plongeant vers le nord et vers le nord-ouest, ensuite des couches et des bancs de conglomérat, de trapp, de grès, et enfin des grès pareils à ceux du nord, et présentant, comme eux, une inclinaison décroissante quand on les observe en des points plus éloignés de l'axe du soulèvement.

Bohemian Mountains.

La chaîne de montagnes principales est composée de trapp cristallin, porphyrique et syénitique, disposé par bandes mal définies et qui paraissent parallèles à la direction générale de tous les terrains. Comme cette disposition est moins marquée que dans les autres parties de la formation, on désigne souvent la roche sous le nom de trapp non stratifié (*unbedded trap*).

Le versant méridional plonge vers le sud et vers le sud-est, sous un angle assez variable, mais compris en général entre 35° et 55°; le versant septentrional présente l'inclinaison inverse vers le nord et le nord-ouest, sous un angle de 30 à 35°. Plus à l'ouest l'inclinaison et plus grande; et dans la région d'Ontonagon elle atteint 55°.

Les points plus élevés des Bohemian Mountains ne dépassent pas 290 mètres au-dessus du niveau du lac, mais les vallées transversales sont peu profondes, et cette chaîne forme la ligne de partage des eaux, depuis le lac la Belle jusqu'au lac Portage.

Vers le sud, le trapp est séparé du grès par une couche de chlorite, de 50 mètres de puissance; la chlorite est très-fissurée, en partie altérée, et contient du feldspath, du fer oxydulé, de l'amphibole hornblende : dans certaines parties elle passe au trapp amygdaloïde, et

contient des veines irrégulières, dans lesquelles plusieurs compagnies ont fait des travaux d'exploration peu productifs.

A l'est le trapp cristallin ne s'avance pas jusqu'à l'extrémité de la pointe; il est remplacé par le trapp compacte, du milieu duquel s'élève le Mont-Houghton, entièrement composé de jaspe, roche qui se prolonge jusqu'au rivage de la baie de la Bête-Grise.

Zone métallifère du Sud.

Au nord des Bohemian Mountains la surface du sol présente une vallée longitudinale très-irrégulière, en grande partie couverte par des alluvions : la vallée est très-large près de Cliff-Mine, très-étroite au contraire vers l'extrémité orientale de la pointe. Dans tous les endroits où il a été possible d'observer la roche, on a trouvé le trapp, compacte, grenu ou amygdaloïde, formant des bancs puissants, séparés souvent par des lits de grès ou de conglomérat. On n'a du reste bien exploré que la partie située au nord des rivières, Eagle-River, Little-Montreal-River; les mines de cuivre natif, exploitées au pied de la seconde chaîne de montagnes, ont valu à cette bande de trapp le nom de zone métallifère du sud. Son étendue en largeur est d'environ 2.500 mètres, et lui assigne une puissance de 1.200 à 1.500 mètres.

Greenstone.

La vallée située au nord des Bohemian Mountains est limitée par des escarpements assez élevés de trapp à texture cristalline, nommé greenstone. Ce nom est assez impropre, puisque toutes les variétés de trapp sont colorées en vert plus ou moins foncé; je le conserverai cependant pour éviter toute confusion entre cette roche et le trapp cristallin et porphyrique du sud.

Le greenstone forme une chaîne de montagnes élevées de 180 à 200 mètres au-dessus du niveau du lac, composées de bancs puissants parallèles entre eux, et

à ceux de la zone métallifère du sud. La direction est à peu près E.-O. auprès de Copper-Harbor ; elle tourne un peu vers le sud à l'extrémité de la pointe de Keweenaw, et vers l'ouest elle devient progressivement N.-E. à S.-O. — Les plateaux étroits et accidentés qui en marquent le sommet, ne sont interrompus que par la vallée profonde, dans laquelle la rivière Eagle-river coule au nord pour se jeter dans le lac.

La vallée d'Eagle-River, aussi bien que l'inflexion des bandes de tous les terrains, indiquent une cassure transversale moins prononcée que celles du Portage-Lake.

L'inclinaison des bancs de greenstone est vers le nord et le nord-est, de 25 à 30°, et la ligne de *pente* est sensiblement normale au rivage.

Au sud le Greenstone est séparé du trapp amygdaloïde, sur lequel il repose, par un lit de conglomérat et par une bande feldspathique contenant du cuivre natif : au nord il est recouvert par des bancs parallèles de trapp compacte, amygdaloïde et grenu, qui composent la zone métallifère du nord.

La distance horizontale entre le lit de conglomérat et le trapp compacte est assez variable, de 400 mètres à 700 mètres, en sorte qu'il est difficile de distinguer quelle est la puissance réelle du greenstone ; on peut l'évaluer approximativement à 300 mètres.

Zone métallifère du Nord.

Les filons explorés à la pointe de Keweenaw traversent la roche à texture cristalline, dont il vient d'être question, mais ne contiennent pas assez de cuivre pour être exploités ; ils deviennent plus riches dans la bande de trapp qui recouvre le greenstone, composée, comme celle du sud, des variétés, compacte, amygdaloïde, grenue, formant des bancs puissants, séparés souvent par des lits de grès et de conglomérat.

A la partie orientale de la pointe de Keweenaw, la zone métallifère du nord est bien à découvert ; elle présente des collines ondulées, généralement parallèles au rivage, et dont la hauteur est toujours moindre que celle des montagnes de greenstone ; leur pente vers le lac est à peu près celle des bandes du terrain, 25 à 30° ; leur inclinaison vers le sud est au contraire plus forte, et presque perpendiculaire à la pente vers le nord.

A l'ouest, le trapp est en partie recouvert par des alluvions, mais il est facile de se convaincre que la disposition est la même qu'à l'est.

L'étendue horizontale du trapp au nord du greenstone est comprise entre 1.700 mètres et 2.400 mètres, et par conséquent la somme des puissances des différents bancs est de 1.100 mètres à 1.200 mètres.

Alternances.

Au nord de cette seconde zone métallifère se présentent des couches alternantes de conglomérat, de grès et de trapp compacte ou amygdaloïde. Toutes les couches sont parallèles aux bancs de trapp et plongent vers le nord, et ensuite vers le nord-ouest sous le même angle de 25 à 30°.

MM. Foster et Whitney, dans le rapport qu'ils ont adressé au gouvernement des États-Unis, sur la géologie du lac Supérieur, annoncent avoir observé que le grès et la conglomérat sont fortement altérés au contact du trapp, mais seulement lorsque cette roche repose sur eux.

La même altération n'est pas apparente aux points où le conglomérat et le grès reposent sur le trapp (1) ; de là ces géologues tirent la conclusion que le trapp est arrivé en fusion sur les roches sédimentaires, tan-

(1) Cependant, dans la contrée d'Ontonagon, on observe le jaspe au-dessus du trapp.

dis que celles-ci ne se sont déposées sur le trapp qu'après son refroidissement complet.

Conglomérat. Aux alternances dont je viens de parler, succèdent vers le nord des bancs très-épais de conglomérat rougeâtre, contenant plusieurs couches de grès. Cette roche est encore bien parallèle au trapp et présente la même inclinaison, de 25 à 30° vers le nord et vers le nord-ouest; son épaisseur est considérable, car en évaluant son étendue horizontale, perpendiculairement à la direction, on ne trouve pas moins de 1.800 à 2.000 mètres de conglomérat, ce qui porte à 1.000, et même jusqu'à 1.100 mètres, la puissance de cette formation.

Amygdaloïde. La grande zone de conglomérat est recouverte par des bancs assez puissants de trapp amygdaloïde, séparés par des lits très-minces de grès, et conservant le plus complet parallélisme avec les formations inférieures : elle s'élève très-peu au-dessus du niveau du lac et forme des écueils très-dangereux sur le rivage, depuis Agate-H. jusqu'à Cat-Harbor. La puissance de cette bande amygdaloïde n'atteint pas 250 mètres et son étendue horizontale ne peut être bien constatée qu'entre Copper-Harbor et Agate-Harbor; elle ne dépasse pas 450 mètres.

Conglomérat, grés. Une seconde zone de conglomérat est superposée au trapp amygdaloïde, mais ne paraît sur le bord du lac que depuis l'extrémité de la pointe jusqu'à la baie de Agate.—Elle s'élève seulement de quelques mètres au-dessus du niveau de l'eau, en formant une falaise irrégulière et dépourvue de toute végétation.—Les ports de Copper-Harbor, Agat-H., grand Marais-H., Eagle-H., Cat-H., sont en partie dans le conglomérat, en partie dans la bande de trapp amygdaloïde.

A l'ouest de Cat-Harbor les alluvions couvrent le rivage et la plus grande partie de la contrée, et ne

permettent pas de reconnaître la succession des terrains aussi nettement que vers l'est. Au nord de la grande zone métallifère on ne distingue plus qu'une faible épaisseur de conglomérat, mais des collines de grès rouge, de grès feldspathique rougeâtre et de grès blancs. —Les couches de grès sont parallèles aux bandes du trapp, l'inclinaison est toujours vers le nord-ouest, mais l'angle diminue progressivement. Auprès du lac Portage, le rivage est éloigné du trapp de plus de 4.000^{m}, et le grès paraît plonger sous un angle de 20 à 22° seulement. La décroissance de l'angle d'inclinaison est du reste bien plus prononcée au sud-ouest du Portage, et jusque dans la contrée d'Ontonagon.

Région du lac Portage. Entre la mine Albion et le lac Portage, la grande formation du trapp ne présente pas tout à fait la même disposition que dans la partie orientale de la Pointe de Keweenaw. —La bande de greenstone cesse d'être distincte, et par suite les deux zones métallifères sont réunies en une seule, limitée vers le sud-ouest par les montagnes de trapp cristallin et porphyrique, et vers le nord-ouest par les conglomérats. Les bancs de trapp, amygdaloïde et compacte sont encore séparés par des lits très-minces de conglomérat ou de grès; ils sont dirigés nord-est à sud-ouest, et plongent vers le nord-est sous un angle de 30° à 35°.

La région du Portage présente une différence bien plus grande pour la disposition des gisements de cuivre natif : dans toute la contrée où les montagnes de greenstone sont apparentes, le cuivre se trouve dans des filons coupant presque à angle droit tous les terrains; vers le lac Portage, les gisements de cuivre sont intercalés entre les bancs de trapp, et plusieurs couches amygdaloïdes sont pénétrées de cuivre.

Grès du Sud.

Au sud des Bohemian Mountains tout le pays est composé de grès, depuis la baie de la Bête-Grise jusqu'à l'ouest de l'Ontonagon. Dans la partie qui appartient à la pointe de Keweenaw, limitée au lac Portage, le grès est dirigé parallèlement au trapp et plongé vers le sud-est, au contact de cette roche, dans un angle de 30 à 50°. Son inclinaison diminue vers le sud, et sur les bords de la baie de Keweenaw les couches sont horizontales, ou même présentent en plusieurs endroits une légère inclinaison vers le nord.

L'apparence du grès est à peu près la même dans le voisinage et à une grande distance du trapp; il est rouge ou seulement peu coloré, et les couches ne présentent pas des différences aussi tranchées dans leur couleur que sur la côte méridionale du lac Supérieur, aux Pictured-Rocks. Auprès du trapp on a constaté la présence des conglomérats, mais ils sont loin de présenter, à la surface du sol, le même développement qu'au nord.

Coupes du terrain.

La succession des terrains est représentée par les coupes tracées Pl. VIII, *fig.* 2 et 3. La première passe par la mine de Cliff, dans la direction N. 35°O. à S. 35°E.; la seconde a été relevée sur les plans de la mine de Copperfalls, et ne comprend que les terrains situés au nord du greenstone; pour la seconde coupe passant par le filon de Copperfalls, les épaisseurs horizontales des bancs et des couches de trapp, de conglomérat et de grès, sont les suivantes :

Greenstone.	500m,00
Trapp compacte, grenu, amydaloïde. .	2.100m,00
Conglomérat.	5m,50
Amygdaloïde.	26m,50
Conglomérat et grès.	32m,60
Trapp en grande partie amygdaloïde. .	132m,00
Conglomérat et grès.	15m,00

Amygdaloïde.	10m,50
Grès.	8m,25
Amygdaloïde.	110m,00
Conglomérat et grès.	133m,00
Amygdaloïde.	58m,00
Grande zone de conglomérat et grès. .	1.660m,00
Amygdaloïde.	jusqu'au lac.

Contrée d'Ontonagon.— Au sud-ouest du lac Portage et jusque bien au delà de la rivière Ontonagon, la disposition générale des terrains est en grande partie la même qu'à la Pointe de Keweenaw. Le trapp forme des chaînes de montagnes assez élevées, présentant le double pendage vers le nord-ouest et vers le sud-est, sur lesquelles s'appuient des conglomérats et des grès. Les alluvions couvrent presque toute la contrée, ne laissant à découvert que les sommets des montagnes, et empêchent de reconnaître les limites exactes des différentes formations.

Trapp.

Les montagnes les plus élevées sont encore formées de trapp porphyrique ou syénitique, et sont la continuation de la chaîne des Bohemian Mountains; elles marquent la direction un peu sinueuse, suivant laquelle a eu lieu le soulèvement. Auprès du lac Portage, cette direction est N. 55°E. à S. 35°O., et plus loin, vers l'Ontonagon, elle est notablement différente, N. 65°E. à S. 65°O. Au sud, le trapp cristallin et porphyrique passe presque immédiatement sous les conglomérats et sous les grès; au nord, il est recouvert par des bancs successifs de trapp, compacte, grenu, amygdaloïde, épidotique, séparés les uns des autres par des lits très-minces ou par des couches de conglomérats et de grès.

Ces bancs sont parallèles au trapp porphyrique, et plongent vers le N.-O., sous un angle un peu variable, de 55 à 65°; leur inclinaison est par conséquent bien plus forte que celle observée à la pointe de Keweenaw.

La partie voisine du lac Portage est assez peu connue, et n'a pas donné lieu jusqu'ici à des travaux de mines permanents; le trapp est principalement compacte, et ne présente pas une grande épaisseur; il n'a guère plus de 5 kilomètres vers le nord, et 2 kilomètres seulement, auprès du sentier qui conduit de Misery-River à l'ancienne Mission catholique, établie jadis au fond de la baie de Keweenaw. La puissance de la zone de trapp augmente graduellement vers le S.-O., et près de la rivière d'Ontonagon, la distance horizontale qui sépare les grès du nord et du sud varie de 6 à 8 kilomètres.

La partie la mieux explorée, celle à laquelle on donne plus spécialement le nom de région métallifère d'Ontonagon, s'étend depuis la mine d'Algonquin jusqu'à la mine de Trap-Rock. Dans cette partie, le trapp forme plusieurs séries de montagnes elliptiques, très-allongées, terminées par des plateaux étendus, élevés de 20 à 30 mètres au-dessus des vallées voisines, et de 180 à 280 mètres au-dessus du niveau du lac. Ces montagnes peuvent être rapportées à trois chaînes parallèles, dont la disposition est indiquée dans la coupe représentée dans la *fig.* 4, Pl. VIII. La direction de la coupe est du N.-O. au S.-E; elle passe par la mine de Minnesota, la plus importante de toutes celles qui sont exploitées dans cette partie du lac Supérieur.

La chaîne du sud est la plus élevée, plusieurs sommets atteignent 250 et 280 mètres, au-dessus du lac. Elle est composé de trapp cristallin, légèrement porphyrique, de trapp compacte qui se remarque principalement vers le versant méridional, et même de trapp amygdaloïde sur le versant opposé. La roche est disposée par bancs épais, dont le pendage est inverse sur les deux versants; au sud ils sont recouverts par les conglomérats et les grès, dont les couches parallèles,

mais un peu brisées, plongent de 50° avec le sud. De l'autre côté, la roche amygdaloïde paraît former toute la vallée de Minnesota, couverte par des alluvions argileuses; la disposition et l'inclinaison des bancs ne peuvent être bien observées que dans les travaux faits au pied de la seconde chaîne de trapp compacte.

La séparation des deux variétés de trapp est marquée par deux couches de grès et de conglomérat, de 10 et 5 mètres de puissance, plongeant vers le N.-O., sous un angle de 55°; les bancs de trapp des deux côtés ont la même inclinaison.

Entre le conglomérat et le trapp compacte se trouve un filon extrêmement riche en cuivre et en argent natifs, et présentant plusieurs veines détachées dans le trapp compacte; elles courent en direction parallèlement au terrain en coupant les bancs sous un angle assez aigu. Ces veines sont riches en cuivre natif, mais ne contiennent pas d'argent; je reviendrai avec plus de détails sur leur disposition dans le chapitre suivant.

Sur le versant septentrional de la chaîne du sud, on exploite des gisements analogues, caractérisés comme les précédents par de grandes masses d'épidote, intercalées entre les bancs de trapp et pénétrant jusqu'à une certaine distance dans l'amygdaloïde. On a reconnu de même en plusieurs points la présence de couches de grès et de conglomérat, marquant la séparation des bancs de trapp de nature différente, compacte et amygdaloïde; les couches et les bancs plongent tous vers le N.-O., sous un angle peu différent de 55°.

La chaîne médiane de trapp compacte est moins élevée que celle du sud: ses plateaux ne dépassent pas 200 mètres de hauteur au-dessus du lac. Au nord, elle présente encore une couche mince de grès, à laquelle succèdent des bancs de trapp compacte et amygdaloïde,

recouverts dans la vallée par une grande épaisseur d'alluvions argileuses, et formant la troisième chaîne, nommée chaîne du Nord.

Peu d'explorations ont été faites de ce côté, mais elles suffisent pour montrer que l'allure du trapp est la même que vers le sud, c'est-à-dire qu'il présente des bancs puissants, parallèles entre eux, plongeant au N.-O. sous un angle de 50°, et séparés parfois par des couches de grès ou de conglomérats.

La limite du trapp vers le nord est marquée par des couches de jaspe, de grès et de conglomérats, sur lesquelles s'appuient les grès qui paraissent s'étendre sous les alluvions jusqu'aux bords du lac.

Les montagnes de trapp ne sont pas continues, mais sont composées de chaînons allongés, séparées par des vallées transversales, les unes très-larges et profondes. les autres fort étroites et assez élevées. La chaîne du sud est cependant, presque partout, la ligne de partage des eaux, et les vallées dans lesquelles les rivières peuvent les traverser pour couler au nord vers le lac, résultent évidemment de cassures de tous les terrains. La plus remarquable est la vallée de l'Ontonagon, rivière dont la branche occidentale coule au pied du versant méridional du trapp depuis le lac Agogebic.

L'alignement des chaînons appartenant à la même chaîne n'est pas toujours régulier; les discordances s'observent principalement aux vallées analogues à celles de l'Ontonagon, indiquant la position des failles principales, qui doivent s'étendre normalement à la direction des bancs de trapp; elles sont en relation évidente avec les changements et les inflexions que présente cette direction.

Ces failles n'ont pas encore été bien étudiées, mais leur importance est trop grande pour que l'attention

des directeurs des mines ne soit pas bientôt appelée sur elles.

Dans les travaux entrepris dans la contrée d'Ontonagon, les gisements situés dans la chaîne médiane, dans la même position que ceux de Minnesota, le cuivre est bien plus abondant, et présente des masses bien plus considérables que dans les gisements du sud. Partout où l'alignement des chaînons a été dérangé par des failles, il est maintenant difficile de reconnaître la situation exacte des travaux commencés, tandis que l'étude complète des systèmes de failles et des dérangements qu'elles ont produits, indiquerait si on est placé sur le prolongement de la chaîne médiane ou sur un chaînon détaché du système méridional. On obtiendrait par là une indication précieuse au commencement des travaux d'exploration, celle de la richesse possible du gisement.

Porcupine Mountains.

A l'ouest de la contrée d'Ontonagon le trapp prend une direction très-voisine de E.-O., et se montre à la surface sur une immense étendue; au sud il s'étend jusqu'au granite, par lequel il a été visiblement soulevé; au nord, il se présente jusqu'auprès du rivage en une branche assez irrégulière, dont l'ensemble a la forme d'un croissant. Ce sont les Porcupine Mountains, dans lesquelles on a fait plusieurs recherches de mines, qui n'ont pas donné de bons résultats. Ces montagnes sont élevées de 250 à 300 mètres au-dessus du niveau du lac, et sont entourées par les conglomérats et par les grès, brisés et soulevés.

Elles sont composées de deux roches bien différentes : le jaspe vers le Sud, le trapp compact et cristallin vers le Nord.

L'aspect de la contrée, la disposition des bancs et des couches de jaspe, de trapp, de conglomérat, de grès, les

alternances du trapp et des roches sédimentaires, offrent l'analogie la plus grande avec tous les faits observés à l'extrémité orientale de la pointe de Keweenaw.

Le trapp se prolonge certainement à une grande distance vers l'Ouest dans l'État de Wisconsin, et les excursions faites par de hardis aventuriers ont fait connaître l'existence de gisements de cuivre natif bien au delà des limites de Michigan. Ce ne sera, du reste, que dans un avenir assez éloigné que les exploitants se porteront vers l'Ouest, car les conditions d'approvisionnements et de transports seront plus défavorables qu'à la pointe de Keweenaw et dans les régions du Portage et de l'Ontanagon.

Conglomérats et grès.

Les conglomérats se présentent en bancs assez puissants des deux côtés du trapp; mais leur épaisseur n'est pas comparable à la grande zone observée près de Agate-H. et de Copper-Harbor. Il ne faut cependant pas en conclure que réellement il y ait moins de conglomérat dans la région d'Ontonagon qu'à la pointe de Keweenaw; les alluvions couvrent les terrains sur une étendue trop grande pour qu'il soit possible de rien affirmer à cet égard.

Les conglomérats n'ont pas encore été signalés entre le lac Portage et la mine Algonquin ; entre cette mine et celle de Douglas-Houghton, les bancs de conglomérats sont aussi puissants à l'Est et à l'Ouest : dans cette partie, le trapp est dirigé N. 25°, E. et S. 25° O., et l'axe de soulèvement à peu près au milieu de la zone de trapp.

Plus à l'Ouest, la direction du trapp est presque parallèle à la côte; la chaîne des montagnes à double pendage est plus rapprochée de la limite méridionale du trapp, les conglomérats se présentent en bancs plus puissants vers le Nord que vers le Sud.

J'indiquerai plus loin que cette disposition des couches sédimentaires peut être expliquée par l'obliquité de la cassure, produite par le soulèvement dans les terrains de trapp, de conglomérats et de grès.

Les grès présentent dans la région d'Ontonagon un immense développement, et forment des deux côtés du trapp deux bandes, dont la largeur dépasse en plusieurs points 25 et même 30 kilomètres. Celle du Nord arrive jusqu'aux bords du lac; celle du Sud est limitée par les roches métamorphiques, par le granite et par le trapp.

Les grès du Nord sont recouverts en grande partie par les alluvions, et leur disposition n'est en évidence qu'en un certain nombre de points; ils sont en général colorés en rouge par de l'oxyde de fer, mais plusieurs couches sont presque blanches, et les alternances reproduisent, sur une échelle moindre, l'effet curieux des Pictured-Rocks. Au contact du trapp et du conglomérat les grès plongent vers le N.-O. sous un angle assez variable, mais toujours à peu près égal à l'angle d'inclinaison des bandes de trapp. Près du rivage, leur pendage est au contraire très-faible de 4 à 10°, et on peut admettre que les couches de grès sont d'autant moins inclinées qu'on les observe à une plus grande distance de la zone de trapp.

Auprès des Porcupine-Mountains, le grès est brisé et se relève de tous côtés, sur le jaspe au Sud, sur le trapp à l'Ouest, au Nord et à l'Est.

Les grès du Sud présentent une disposition analogue : leurs couches sont inclinées au contact du trapp et du conglomérat, deviennent sensiblement horizontales à une certaine distance, et se relèvent de nouveau, en présentant l'inclinaison inverse, auprès des roches métamorphiques, du granite et du trapp, qui les limitent vers le Sud.

A l'Ouest, le grès se termine en pointe sur le trapp ; ses brisures et ses inclinaisons démontrent qu'il a été soulevé de deux côtés.

En plusieurs endroits, le grès forme des montagnes isolées, et les couches disloquées plongent vers tous les points de l'horizon, apparence qu'on peut expliquer par un soulèvement local, dont l'intensité n'a pas été assez grande pour faire arriver le trapp jusqu'au jour.

L'explication est rendue plausible par l'existence de montagnes isolées de trapp, dont les bancs plongent de la même manière vers tous les points de l'horizon, et sur lesquelles les couches de grès se relèvent de tous côtés. Le point le plus remarquable est la *Silver Mountain*, indiquée sur la carte de MM. Foster et Whitney.

Calcaire magnésien.

Pendant les excursions nombreuses que l'exécution de la carte géologique a rendues nécessaires, on a constaté l'existence de plusieurs lambeaux de calcaire magnésien reposant sur le grès horizontal (1). Ils sont brisés et disloqués, mais présentent l'analogie la plus grande avec les calcaires qui s'étendent à l'Ouest du Saut-Saint-Marie, sur la bande de terrain qui sépare le lac Supérieur du lac Michigan.

L'existence du calcaire magnésien au sud du trapp, est un fait de la plus grande importance, car elle prouve en même temps l'identité des grès qui existent au Nord et au Sud du trapp avec ceux qui forment la côte méridionale du Sud, et la violence du bouleversement qui a été causé par le soulèvement des trapps, des conglomérats et des grès.

(1) Un de ces lambeaux se trouve à une vingtaine de kilomètres à l'ouest du fond de la baie de Keweenaw.

Elle démontre également que le soulèvement n'a pu avoir lieu que postérieurement au dépôt des calcaires, c'est-à-dire après l'époque silurienne inférieure.

Ile-Royale. — L'Ile-Royale est située en face de la pointe de Keweenaw, à une distance assez faible pour qu'on puisse l'apercevoir, par les beaux temps, des montagnes de Copper-Falls. Elle est allongée dans la direction N. 65°, E. à S. 65° O. ; sa longueur dépasse 75 kilomètres, tandis que sa plus grande largeur n'atteint pas 14,000 mètres. Pl. VII.

Au Nord-Est, elle présente des baies très-profondes, séparées par des montagnes parallèles, que leur forme a fait comparer aux doigts de la main.

Dans les baies, l'eau est très-profonde, principalement vers la côte du Sud; et les navires peuvent y chercher un refuge contre les tempêtes. Le plus important des ports de cette partie de l'île est Rock-Harbor ; sur ses bords, la compagnie Siskawit M.-C. a commencé des travaux dans un filon de cuivre, qui paraît jusqu'à présent d'une richesse contestable (1).

La côte septentrionale est peu accidentée, et présente dans toute son étendue des falaises élevées et des écueils dangereux. — Au Sud-Ouest, le rivage présente plusieurs baies bien abritées ; celle de Washington-Harbor pourrait être transformée en un port magnifique si cette partie de l'île était habitée.

Sur la côte méridionale, l'immense baie de Siskawit, dans le grès et le conglomérat, pourrait recevoir des flottes entières.

L'Ile-Royale est presque entièrement composée de

(1) La mine de *Siskawit* et celle voisine de *Ohio and trap-rock* ne fournissent pas plus de 40 tonnes de cuivre par an.

trapp, et ne présente des conglomérats et des grès que vers son extrémité méridionale.

La surface du sol est très-accidentée, tout en offrant une disposition générale assez simple et facile à saisir ; les différentes variétés de trapp, compacte, grenu, amygdaloïde, en bancs assez puissants, séparés par des couches de grès et de conglomérats, forment des montagnes rigoureusement parallèles à la direction générale de l'île, élevées de 150 à 200 mètres au-dessus du niveau du lac.

Vers le Nord, leurs flancs sont escarpés; vers le Sud, au contraire, leurs pentes sont très-douces, et varient, comme l'inclinaison des bancs, de 10 à 12° vers le S.-E.

Les conglomérats s'appuyent sur le trapp, et leurs couches plongent aussi vers le S.-E. sous un angle de 10 à 12° ; ils sont recouverts par les grès, dont l'inclinaison est la même.

En rapprochant cette disposition de celle de la pointe de Keweenaw, il est impossible de ne pas reconnaître l'identité des deux terrains ; au Sud, on distingue bien la ligne des Bohemian-Mountains, suivant laquelle a eu lieu le soulèvement ; à l'Ile-Royale on pourrait admettre, en raison de la faible inclinaison des couches, que le soulèvement a été produit par le granite, qui apparaît en montagnes élevées sur la côte du Canada.

§ II. — *Description des roches.*

Dans le pragraphe précédent, j'ai passé rapidement sur les caractères des roches différentes, afin de ne pas compliquer l'exposé de la disposition des terrains. il importe de revenir sur ces détails intéressants avant de commencer la description des gisements de cuivre.

Je ne peux parler que des roches qui se trouvent dans la région d'Ontonagon et à la pointe de Keweenaw, les deux parties les plus intéressantes en raison de la richesse des mines de cuivre et du développement qu'ont pris les travaux pendant ces dernières années.

Trapp.

Le trapp forme des bancs très-différents les uns des autres par leur aspect et par leur structure. La roche paraît être un mélange plus ou moins intime d'amphibole hornblende et de feldspath labrador : ces minéraux sont parfois en cristaux distincts, parfois en grains imperceptibles.

La chlorite et le fer oxydulé entrent presque toujours en notable proportion dans la composition du trapp, et dans les cavités on trouve assez fréquemment des cristaux très-beaux de prehnite, d'analcime et d'épidote.

La chlorite est souvent en proportion tellement forte, que le trapp paraît être un mélange de feldspath et de chlorite, renfermant très-peu d'amphibole.

Le fer oxydulé est presque toujours en petits cristaux discernables, quelquefois cependant on ne peut le distinguer à la vue simple ; mais sa présence est toujours accusée par l'action énergique produite sur l'aiguille aimantée : tantôt l'aiguille de la boussole est déviée de plusieurs degrés de la position normale, tantôt elle oscille rapidement de part et d'autre d'une position d'équilibre.

Cette action sur la boussole est extrêmement embarrassante, soit pour lever les plans dans les mines, soit pour se diriger dans les forêts. Elle varie d'un banc de trapp à l'autre, et l'étude de ces variations, comparées à la richesse des filons exploités, pourrait donner des résultats intéressants ; l'électricité a joué certainement

un grand rôle dans le dépôt du cuivre à l'état natif, et la conductibilité du trapp doit être en relation avec l'action que cette roche exerce encore maintenant sur la boussole.

L'épidote verte plus ou moins mélangée de quartz et de calcaire, se présente en masses considérables entre les bancs de trapp et pénètre à une assez grande distance dans la roche amygdaloïde ; ce fait n'a pas encore été observé à la pointe de Keweenaw, mais il est fréquent dans la région du lac Portage et dans la contrée d'Ontonagon.

Les cristaux définis d'épidote, de prehnite, d'analcime, etc., sont en relation avec les filons qui traversent le trapp ; ils ont été rencontrés plus fréquemment à la pointe de Keweenaw que partout ailleurs, probablement parce que dans cette partie le terrain a été beaucoup plus fissuré dans le soulèvement.

La structure des bancs de trapp présente de nombreuses variétés.—Certains bancs sont compactes, très-durs et très-chargés d'amphibole ; d'autres ont une texture grenue et contiennent beaucoup de feldspath, visible en cristaux blancs et roses ; ils sont aussi durs que les premiers et ne sont pas considérés comme exerçant une bonne influence sur la richesse des filons. Cette opinion est peut-être mal fondée, et provient seulement de l'insuccès d'un petit nombre de tentatives faites dans cette roche. J'indiquerai dans le chapitre suivant que les filons sont extrêmement nombreux, mais que très-peu d'entre eux sont riches en cuivre ; on ne doit donc pas poser une règle générale au sujet du trapp à texture grenue, avant que l'influence de cette roche n'ait été constatée dans plusieurs filons productifs.

La variété de trapp la plus remarquable est celle

qu'on nomme l'amygdaloïde ; elle est éminemment métallifère, c'est-à-dire qu'elle encaisse les parties les plus riches des filons productifs explorés jusqu'à présent. Elle est en général de couleur très-foncée, agit fortement sur l'aiguille aimantée, et présente de nombreuses cavités arrondies, communiquant entre elles par des fissures presque imperceptibles, remplies postérieurement par des minéraux divers.

C'est une roche bulleuse et finement fissurée, disposée en bancs plus irréguliers que ceux des autres variétés de trapp, comparable pour sa texture à une scorie pâteuse refroidie rapidement. Les minéraux qui remplissent les cavités sont : le quarz hyalin, l'agate, le feldspath, le calcaire blanc spathique, la chlorite fibreuse et rayonnée, l'épidote, la prehnite, l'analcime et même le cuivre natif.

Chaque banc d'amygdaloïde a ses minéraux particuliers : à la pointe de Keweenaw, au nord et au sud du Greenstone, les noyaux sont principalement formés de chlorite, de quartz et de feldspath ; au milieu de la zone métallifère du nord, un banc d'amygdaloïde a été pénétré par les matières des filons voisins, les noyaux sont composés de quartz, de calcaire, de chlorite et de cuivre natif. — On l'exploite à Copperfalls, et sa teneur en cuivre est assez élevée pour qu'on puisse espérer des résultats avantageux.

Auprès du Portage et dans la contrée d'Ontonagon, la roche amygdaloïde est de même pénétrée par l'épidote, le calcaire, le quartz, la chlorite ; le cuivre natif ne se présente que dans le voisinage immédiat des filons. Dans les noyaux contenant du cuivre on peut remarquer que le métal forme souvent une pellicule très-mince, enveloppant la chlorite et le calcaire.

L'agate n'est pas seulement en noyaux dans l'amyg-

daloïde, elle se présente souvent en veinules ou en nids, qui rappellent d'une manière frappante, bien que sur une moindre échelle, les célèbres gisements d'Oberstein. La bande amygdaloïde, voisine du rivage à Agate-Harbor, est celle qui paraît contenir les plus belles agates ; la baie doit son nom à cette circonstance observée par les premiers explorateurs.

Le greenstone est un trapp à texture cristalline, contenant beaucoup d'amphibole et de chlorite ; la couleur de la roche est plus ou moins foncée, suivant la proportion assez variable du feldspath.

Le trapp porphyrique des Bohemian Mountains présente des cristaux bien nets de feldspath dans une pâte de couleur très-foncée, cristalline et renfermant beaucoup d'amphibole. La roche devient syénitique quand les cristaux de feldspath sont très-nombreux et rapprochés.

Le jaspe paraît être un grès feldspathique soumis postérieurement à l'action d'une haute température ; il accompagne les trapps porphyriques, au Mont-Houghton et dans les Porcupine-Mountains ; il est superposé au trapp dans la contrée d'Ontonagon.

Conglomérats. Les conglomérats contiennent des galets arrondis de toute grosseur, de trapp compacte, amygdaloïde, cristallin, porphyrique et de jaspe, c'est-à-dire de toutes les roches dures autres que le granite existant dans la contrée ; ils sont empâtés dans un ciment compacte qui paraît être composé des mêmes matières. Les grès subordonnés dont les couches sont comprises dans la formation des conglomérats, sont formés de grains de quartz et de feldspath, dans un ciment ferrugineux.

En observant attentivement les galets arrondis des conglomérats, on distingue des fissures très-fines, remplies par du calcaire spathique, qui paraissent se

continuer dans la pâte ; elles indiquent un phénomène postérieur à la formation de ces terrains sédimentaires, probablement contemporain du remplissage des filons.

Grès. Les grès couvrent la plus grande partie de la contrée et forment presque toute la côte, depuis le saut Sainte-Marie jusqu'au massif granitique, et depuis le lac Portage jusqu'au fond du lac. Un immense lambeau se présente encore entre le trapp et le granite, de la baie de la Bête-Grise jusqu'à la Black-River. La disposition des couches et leur apparence ne laissent pas le moindre doute sur l'identité des grès dans les différentes parties ; il s'est primitivement déposé en couches horizontales sur toute la contrée, au-dessus des roches qui ont maintenant la texture de conglomérat et de trapp.

Les couches de grès sont colorées en rouge plus ou moins foncé, les plus rapprochées du conglomérat sont très-chargées d'oxyde de fer ; les couches supérieures sont peu colorées, et la pâte devient calcaire pour celles immédiatement inférieures au calcaire magnésien.

Les grains sont presque toujours de quartz et de feldspath ; la pâte est ferrugineuse et ressemble à de la boue de consistance argileuse, telle que pourrait la donner la désagrégation et la décomposition partielle des roches amphiboliques. Les couches peu colorées et blanches ont une consistance assez faible, ne contiennent que très-peu ou même pas de ciment, excepté dans les parties supérieures de la formation dans lesquelles la pâte est calcaire.

Aucun fossile n'a encore été signalé dans les conglomérats et dans les grès, et leur âge ne peut être déterminé que par leur position au-dessous des calcaires

magnésiens qui appartiennent à l'époque silurienne inférieure.

Fentes des terrains.

A la pointe de Keweenaw, depuis l'extrémité orientale jusqu'à la mine Albion, près de laquelle le greenstone cesse d'être apparent ; les terrains de trapp, de conglomérat et de grès présentent de nombreuses fentes presque verticales et toujours sensiblement normales à la direction des couches ; elles sont plus nombreuses et plus marquées dans le trapp que dans les terrains sédimentaires ; on peut les observer principalement dans le greenstone, sur le versant méridional qui présente la tranche du terrain bien à découvert. Auprès des coudes que forme la direction, les fentes sont tellement rapprochées que la roche trappéenne paraît avoir une structure colonnaire analogue à celle des basaltes.

Dans les grès, les fentes ne sont pas aussi rigoureusement normales à la stratification, et conservent leur parallélisme sur une assez grande étendue; dans le conglomérat on distingue plutôt de grandes fractures que des fentes véritables.

Dans les régions du Portage et d'Ontonagon, le trapp n'est pas aussi fissuré que dans la partie orientale de la Pointe ; il paraît y avoir eu écartement des bancs successifs les uns des autres, en même temps que de grandes brisures indiquées par les vallées transversales. Des grès présentent encore des systèmes de fentes parallèles, presque verticales, mais assez écartées les unes des autres.

Calcaire magnésien.

Le calcaire magnésien se trouve seulement en quelques points à l'ouest de la baie de Keweenaw, reposant sur des grès blancs ; il n'a d'importance qu'au point de vue géologique, comme témoin de l'identité des grès de la contrée métallifère, avec ceux sur lesquels reposent les calcaires magnésiens, situés à l'ouest du saut Sainte-Marie.

Dans ces calcaires on a trouvé des fossiles (presque tous des moules intérieurs) dans lesquels M. James Hall a reconnu les espèces suivantes qui appartiennent à la période silurienne inférieure.

Maclurea, *Gasteropode Murchisonia ou Loxomena*, *Ambonychia orbiculata* et *amygdalina*, *Modialopsis truncatus*, *Edmondia subtruncata*, *subangulata et ventricosa*, *Leptena sericea*, *Orthis*, *Crinoïdes glyptocrinus*.

Résumé.

Avant de parler des alluvions qui couvrent sur une grande épaisseur la majeure partie de la contrée, il me semble utile de résumer en peu de mots la constitution géologique des bords du lac Supérieur.

On rencontre au lac Supérieur des roches de trois natures bien différentes :

1° Des roches déposées primitivement sous les eaux en couches horizontales, le calcaire magnésien, les grès et les conglomérats ;

2° Des trapps, dont l'origine ignée est encore douteuse ;

3° Des granites et des roches métamorphiques, dont l'apparition a certainement suivi le dépôt des autres terrains.

Le granite et les roches métamorphiques paraissent constituer les montagnes de toute la partie orientale du lac ; vers le nord, ils forment à une faible distance du rivage une chaîne très-élevée, dont la direction est sensiblement parallèle à celle de l'Ile-Royale, N. 65° E. à S. 65° O. Les trapps et les grès disloqués et relevés sur cette chaîne ne laissent pas le moindre doute que le granite ait été la roche soulevante, au moins dans cette partie du lac.

Sur la rive méridionale le granite, recouvert en partie par les micaschistes, le jaspe des roches amphiboliques, apparaît auprès du rivage, au sud de la baie de Keweenaw, et s'avance jusque dans l'État de Wisconsin, dans la direction S. 70° O. Là encore les terrains ont été brisés et soulevés par cette roche, car on trouve au nord comme au sud les grés en couches horizontales à une certaine distance du granite, disloqués et relevés au contact de cette chaîne de montagnes.

Il est fort difficile, dans l'état actuel des explorations faites dans cette partie de la contrée, d'émettre une opinion sur la nature première des roches amphiboliques en contact avec le granite, et désignées par les géologues américains comme métamorphiques.

Je me borne à signaler cette question intéressante qui s'écarte du but de mon mémoire, l'étude des gisements de cuivre.

Le trapp, sous différentes variétés, compacte, grenue, amygdaloïde, cristalline, porphyrique, se présente en bancs puissants, parallèles entre eux, parallèles également aux couches des conglomérats et des grès, et séparés assez fréquemment les uns des autres par des lits de ces deux roches sédimentaires.

Il apparaît tout le long de la côte du Canada, à l'est et au nord ; à l'Ile-Royale et sur la côte américaine, depuis l'extrémité de la pointe de Keweenaw jusque bien loin vers l'ouest, dans le Wisconsin.

Au nord, le trapp est disloqué et relevé au contact du granite ; à l'Ile-Royale les bancs sont inclinés vers le sud de 10 à 12°, en plongeant sons les eaux du lac, recouverts en partie par les conglomérats et par les grès.

A la pointe de Keweenaw, la disposition du trapp est

un peu complexe, et la direction n'est pas aussi régulière qu'à l'Ile-Royale. La direction des bancs présente plusieurs inflexions auxquelles semblent correspondre des cassures transversales de tous les terrains, et varie depuis E.-O. jusqu'à N. 10° E. à S. 10° O.

Dans toute son étendue, le trapp est divisé en deux parties par une chaîne de montagnes qui est en général plus rapprochée de la limite méridionale de la zone : le versant septentrional présente pour tous les bancs l'inclinaison vers le nord, sous un angle variable de 55 à 25° ; sur le versant opposé le pendage est vers le sud, sous un angle compris entre 30° et 60°. Cette disposition prouve que les bancs de trapp ont été brisés suivant la direction de cette chaîne de montagnes, par une roche qui les a relevés en ne venant pas jusqu'à la surface. On peut conjecturer que cette roche soulevante est le granite, par analogie avec les positions respectives du trapp et du granite sur la rive septentrionale au Canada, et à l'ouest à la limite du Minnesota.

Les Porcupine-Mountains, à l'ouest de l'Ontonagon, représentent un soulèvement partiel tout à fait analogue, la présence du jaspe au sud de ces montagnes, comme au mont Houghton, l'aspect porphyrique du trapp, sont autant d'indices qui comfirment la proximité du granite.

La disposition des bancs de trapp, au nord et à l'est, sur les rives canadiennes, au sud, à la pointe de Keweenaw, et sur toute la côte américaine, démontre l'existence de cette roche sous la plus grande partie du lac.

Les conglomérats présentent en plusieurs parties de la contrée une puissance considérable, notamment à la pointe de Keweenaw, depuis l'île Manitou jusque vers Eagle-River, et à l'Ile-Royale vers son extrémité méri-

dionale : ils sont moins en évidence vers l'ouest, dans les régions du Portage et de l'Ontonagon.

Leurs couches inférieures, accompagnées de grès rouges, offrent des alternances curieuses avec les bancs supérieurs du trapp ; elles ont été bien observées à la mine de Copperfalls, dont les galeries d'écoulement ont traversé presque tous ces terrains.

Les lits de conglomérats et de grès qui séparent les bancs de trapp, les alternances que présente la partie supérieure de la formation trappéenne, et principalement l'immense étendue et la régularité de ces alternances, semblent indiquer que les trapps ont été produits en même temps que la formation sédimentaire et non pas postérieurement aux dépôts des couches.

Les grès recouvrent partout les conglomérats et sont en stratification parfaitement concordante avec eux, ils s'étendent depuis le saut Sainte-Marie jusque dans l'État de Wisconsin, en trois bandes distinctes, appartenant à la même formation, brisée et soulevée par le massif granitique du Sud et par les trapps de la pointe de Keweenaw. Ils se prolongent certainement sous les eaux du lac, car ils apparaissent à l'Île-Royale dans la position symétrique de celle qu'ils occupent sur la côte méridionale.

La bande de grès située la plus au sud, présente sur le rivage du lac des escarpements qui permettent d'étudier la partie moyenne de la formation, marquée par des alternances de couches de couleur rouge et de couches faiblement colorées ; de ce côté, la partie inférieure de la formation est cachée par les eaux du lac ; la partie supérieure est composée de grès presque blancs, dont la pâte est calcaire.

Au contact du granite et des roches amphiboliques, les couches de grès sont relevées et plongent vers le sud.

La seconde bande des grès, comprise entre le granite et le trapp, est relevée au contact des deux roches et présente la forme d'un immense fond de bateau.

Les couches de grès sont horizontales dans toute la partie moyenne de la bande ; vers le sud, au contact du granite, elles plongent vers le nord ; au nord, au contact du trapp, elles plongent vers le sud.

Il serait d'un grand intérêt de pouvoir étudier en détail la disposition des grès auprès du trapp ; sur presque toute la ligne de séparation, qui s'étend de la pointe de Keweenaw à la Black-River, le grès repose presque immédiatement sur le trapp et ne laisse apercevoir les conglomérats que sur une faible épaisseur, et seulement dans certaines parties. Il est certain cependant que les conglomérats doivent avoir de ce côté le même développement que vers le nord, puisque vers les mines Algonquin et Douglas Houghton ils sont bien symétriques des deux côtés du trapp.

Entre ces deux mines, les montagnes de trapp possédant le double pendage, celles qui marquent l'axe du soulèvement, sont placées au milieu de la zone de trapp, tandis que partout ailleurs elles sont plus rapprochées de la limite méridionale. Ces dispositions portent à penser que la cassure des terrains s'est faite obliquement, et non pas toujours perpendiculairement aux couches ; l'angle de brisure a dû être plus faible à la pointe de Keweenaw que dans la contrée d'Ontonagon ; il a dû être très-voisin de 90° entre les mines précédemment citées.

Cette hypothèse explique assez bien comment les grès du sud peuvent empiéter sur le trapp, et ne laissent pas apercevoir les tranches successives du trapp, des conglomérats et des grès, aussi bien que vers le nord.

Dans cette zone de grès, et vers la limite méridionale on a constaté plusieurs îlots, les uns de trapp, les autres de grès, présentant les bancs et les couches inclinés vers tous les points de l'horizon. Ils indiquent une série de soulèvements isolés, encore imparfaitement étudiés, pour lesquels la roche soulevante n'a pas traversé le trapp, et même n'a pas forcé le trapp à traverser les grès.

Vers l'ouest de la baie de Keweenaw on a rencontré quelques lambeaux de calcaire magnésien, identique avec celui qui se présente entre les deux lacs Supérieur et Michigan.

Ils indiquent que le calcaire s'étendait bien loin au sud, et qu'il a été brisé et enlevé par les soulèvements qui ont donné à la contrée son relief actuel.

La bande de grès du nord forme tout le rivage, depuis Eagle-River jusqu'au fond du lac; les couches sont relevées vers le sud, parallèlement aux bancs de trapp, et leur angle d'inclinaison diminue progressivement vers le nord. Ils sont recouverts en grande partie par les sables et argiles, mais on peut les observer en différents points et constater leur identité avec ceux qui existent plus au sud. Les grès de l'Ile-Royale, plongeant sur le sud, reposant sur les conglomérats, sont bien évidemment la continuation de ceux observés à la pointe de Keweenaw.

Le calcaire magnésien, caractérisé par des fossiles qui tous appartiennent à l'époque silurienne inférieure, forme une zone assez étendue à l'ouest du Saut Sainte-Marie; il se présente encore en lambeaux isolés à l'ouest de la baie de Keweenaw. Partout il est supérieur aux grès et repose sur eux en stratification concordante.

Origine du trapp.

La véritable origine du trapp me paraît encore assez obscure : les géologues américains le considèrent comme une roche volcanique, venue au jour dans un état de fluidité parfaite, mais cette hypothèse n'explique pas d'une manière satisfaisante la disposition, et surtout l'immense étendue des bancs de trapp, toujours et partout rigoureusement parallèles aux lits et aux couches des conglomérats et des grès.

La disposition de toutes les roches serait plus facile à expliquer en admettant que ces trapps sont des schistes ferrugineux métamorphiques.

Je ne peux cependant aborder maintenant la discussion de cette hypothèse; je dois attendre qu'un second voyage au lac Supérieur m'ait mis en position d'étudier plus en détail les caractères minéralogiques et la disposition de tous les terrains.

Quelle que soit du reste l'origine du trapp, il est évident qu'il s'est produit en bancs horizontaux, avant et pendant la formation des conglomérats, sur lesquels se sont déposés les grès, et plus tard le calcaire magnésien.

L'ensemble de ces roches, trapp, conglomérat, grès et calcaire, a recouvert un immense bassin, dont une partie seulement est occupée par le lac Supérieur.

Le granite a brisé, soulevé et même traversé tous les terrains, et pendant les bouleversements produits par son apparition au jour, le calcaire a été presque complétement enlevé.

La direction des deux chaînes granitiques du nord et du sud, celle des bancs et des couches de l'Ile-Royale, la direction qu'on peut attribuer à la zone de trapp de la pointe de Keweenaw en négligeant ses sinuosités, sont E. 25° N. à O. 25° S.

On doit admettre, d'après les fossiles du calcaire magnésien, que les terrains observés au lac Supérieur appartiennent à l'étage silurien inférieur. Le soulèvement

a dû se faire à la fin de la période pendant laquelle le calcaire se déposait sous les eaux.

§ III. — *Alluvions.*

On rencontre dans tout le nord de l'Amérique, les rochers polis, striés et sillonnés dans une direction déterminée, les dépôts de sables et argiles, graviers, galets et blocs de toutes dimensions, transportés du nord vers le sud, dont l'explication a produit de si nombreuses discussions entre les plus éminents géologues.

En Amérique et dans le nord de l'Europe, les faits observés sont presque identiques; les matériaux transportés paraissent avoir suivi la même direction ; elle est du nord au sud dans son ensemble, mais présente plusieurs déviations locales, suivant les obstacles que les hautes montagnes ont opposés au mouvement.

Au lac Supérieur, les phénomènes erratiques sont évidemment postérieurs aux gisements de cuivre natif, n'ont avec eux aucune relation, mais leur étude est trop intéressante pour que je ne m'y arrête pas quelques instants. J'exposerai seulement les faits observés dans la contrée, sans entrer dans la discussion des hypothèses qui pourraient être faites pour les expliquer.

Roches polies, striées et sillonnées. — Les sillons tracés sur les roches en évidence, dont la forme est arrondie du côté du nord, se rapportent certainement au commencement de la période erratique, car en plusieurs points on rencontre les stries sous les alluvions les plus anciennes; ils sont principalement en évidence à l'Ile-Royale et à l'extrémité orientale de la pointe le Keweenaw, par suite de l'absence des alluvions.

A l'Ile-Royale, les promontoires qui s'avancent vers le nord-est sont tous arrondis et striés des deux côtés; toute la côte exposée au nord présente également des stries, et les roches sont partout arrondies et polies. — L'extrémité occidentale de l'île ne présente aucune indication de cette nature, mais on les retrouve, peut-être moins développées, sur toute la côte méridionale. Le conglomérat lui-même est sillonné comme le trapp, mais les stries sont moins distinctes; on doit l'attribuer à ce que le conglomérat est une roche moins dure, sur laquelle les agents atmosphériques ont produit plus facilement la décomposition de la surface.

La direction des stries paraît être dans toute l'étendue de l'Ile-Royale N. 50° E. à S. 50° O., et par conséquent assez peu différente de l'orientation des terrains (1).

A la pointe de Keweenaw, les alluvions n'ont pas été constatées dans toute la partie orientale, mais les roches polies et striées sont très-apparentes dans toute la zone de trapp : leur direction générale est N. 20° E. On ne les distingue pas sur les conglomérats et sur les grès par la raison que j'ai indiquée tout à l'heure, par suite de la décomposition lente de la surface par les agents atmosphériques. A l'ouest, dans les contrées du Portage et d'Ontonagon, les stries sont presque partout cachées par les alluvions.

Dans le massif granitique de Carp-river, les bords du lac, et toutes les pentes des montagnes exposées au nord présentent des stries dirigées dans leur ensemble

(1) En plusieurs points de l'île Royale, on remarque des stries irrégulières, à une faible distance au-dessus et au-dessous du niveau du lac : elles sont évidemment très-modernes et produites par les glaces qui se forment actuellement pendant l'hiver.

du N.-E. au S.-O. Les directions observées sont assez différentes, depuis N.-S. jusqu'à N.-65° E., depuis celle qui paraît être la direction normale erratique jusqu'à celle de la chaîne des montagnes granitiques.

Les explorations faites dans cette région ne sont pas assez nombreuses pour qu'on puisse établir la relation qui doit exister entre la direction des stries, et la hauteur et la forme des montagnes, sur lesquelles elles sont observées.

Galets, argiles, sables et graviers, blocs erratiques. — Les dépôts que j'ai désignés jusqu'à présent sous le nom d'alluvions, comprennent des matériaux très-divers, qui présentent assez fréquemment une apparence de stratification horizontale. Ces alluvions sont très-développées; sur la côte méridionale du lac, depuis le Saut Sainte-Marie jusque vers la Chocolate-river; sur toutes les bandes de grès au nord et au sud du trapp; elles remplissent le fond des vallées du trapp dans toute la contrée d'Ontonagon, à l'ouest elles ont été signalées bien au delà de *fond du lac*. Au sud elles s'étendent jusqu'aux vastes prairies du Wisconsin et de l'Illinois.

Blocs erratiques.

Les blocs erratiques, de toutes les dimensions, tous arrondis et composés de roches dures, granite, hornblende, trapp, et même de cuivre natif et de fragments de filons; les uns bien polis, les autres striés, ont été reconnus dans les sables, dans les argiles, dans les graviers, dans les dépôts de galets. On les retrouve encore isolés sur plusieurs montagnes élevées, à des hauteurs de 300 mètres et plus au-dessus du niveau actuel du lac.

Les blocs ont par conséquent été déposés pendant toute la période erratique; ils ont été transportés du nord vers le sud, car en chaque point où ils sont constatés, il sont composés de roches n'existant que vers le nord. Ceux de l'Ile-Royale, de la pointe Keweenaw et de la contrée d'Ontonagon, proviennent des roches de la côte septentrionale du lac; les blocs du sud et du sud-ouest, qui forment une longue traînée dans les États de Wisconsin et d'Illinois, proviennent du massif granitique et métamorphique, qui s'étend au sud de la région métallifère.

La meilleure preuve à donner du transport du nord au sud est l'existence des blocs de minerais de fer au sud de la contrée de Carp-River, tandis que, plus au nord, aucun bloc de cette nature n'a été signalé.

Alluvions.

En étudiant la disposition des alluvions on peut reconnaître une succession probable, dans le dépôt des galets, des argiles, des sables et des graviers.

Les galets mélangés de sables et d'argile paraissent la base de la formation; ils ne sont en évidence que su les bords du lac dans les deux zones du grès, auprès des Pictured-Rocks et du Portage. Ils ne sont pas à une grande hauteur au-dessus du niveau du lac : les matériaux qui les composent semblent provenir des montagnes voisines et n'avoir pas été transportés à de grandes distances.

Les argiles assez régulièrement stratifiées, mais renfermant encore des galets, et des blocs de grandes dimensions reposent sur le dépôt précédent, ou sur les roches elles-mêmes, quand ce dépôt manque. Elles ont été constatées à la base des alluvions près du Saut Sainte-Marie, et surtout dans la contrée d'Ontonagon. Dans cette partie du lac, elles remplissent les vallées de la zone de trapp et paraissent provenir de la décomposition de la roche trappéenne. Elles se présentent encore, mais plus mélangées de sables quartzeux, au nord de cette zone, dans les vallées qui répondent aux conglo-

mérats et aux grès feldspatiques. Les argiles accompagnées de sables et graviers sont très-abondantes dans la bande des grès au sud du trapp. Il est impossible de connaître l'épaisseur réelle des argiles; elle ne paraît pas dépasser 15 à 20 mètres.

Les sables et les graviers, accompagnés de galets, tantôt colorés en rouge, tantôt presque blancs, se présentent au-dessus des argiles à l'extrémité de la rivière du Saut, au Grand-Sable; dans toutes les autres parties du lac, il est difficile de distinguer si les sables sont plus récents que les argiles, ou si les deux dépôts sont contemporains. Ils existent sur une épaisseur de 20 à 30 mètres sur les trois zones dont j'ai parlé au commencement de ce chapitre, formant des pentes douces vers le lac, présentant des terrasses dans lesquelles on peut voir la preuve d'élévations successives des terrains, ou remplissant les vallées étroites limitées par des montagnes de grès.

Il est important de remarquer que sur la rive méridionale, à l'est du Saut Sainte-Marie, et sur la zone de grès qui s'étend au nord du trapp, les sables sont en général presque blancs, et que leur coloration est en relation évidente avec celle des couches de grès sur lesquelles ils reposent.

On peut étudier ces changements de couleur en allant de la ville d'Ontonagon à la mine de Toltec, située à plus de 25 kilomètres vers le sud : on voit les alluvions de graviers et de sables se colorer de plus en plus et devenir plus argileuses à mesure qu'on s'approche des conglomérats et du trapp.

Cette observation porte à faire considérer les sables et graviers comme provenant de la désagrégation locale, au moins en grande partie, des roches environnantes, et par conséquent à faire admettre que les

deux dépôts de sables et d'argile sont à peu près contemporains, produits par la même cause, et n'ont pas été transportés à de grandes distances.

Les couches irrégulières de graviers et de galets recouvrent les sables en un petit nombre de points; ils ne sont bien développés que sur la rive méridionale du lac, au Grand-Sable et sur la côte occidentale de la rivière du Saut. Leur épaisseur ne dépasse pas 4 à 5 mètres, et leur disposition en couches mal stratifiées paraît indiquer une période moins tranquille que celle des argiles et des sables.

Terrasses. Les terrasses du lac Supérieur sont bien caractérisées en différents points, au Grand-Sable et sur la côte méridionale, à l'est et au nord, sur la rive canadienne. Leur aspect et leurs dimensions ne sont pas les mêmes au nord et au sud, et chaque terrasse a sa disposition particulière.

Elles présentent toutes une succession de talus à pentes assez douces, en retraite les uns sur les autres, se prolongeant à une distance de plusieurs kilomètres, en se rapprochant progressivement.

Il est permis de considérer chacune de ces terrasses comme indiquant le niveau du lac à une époque récente; mais alors il faut admettre que le terrain a été diversement élevé aux différents points du lac à des époques successives. Si l'élévation avait été générale, on retrouverait dans toutes les terrasses la correspondance des hauteurs et la continuité qui leur manquent.

Les variations irrégulières et momentanées du niveau de l'eau, qu'on observe maintenant encore sur les côtes des grands lacs, peuvent être expliquées par des mouvements du sol, qui s'abaisse et se relève successivement. Dans cette hypothèse, on peut voir dans les variations actuelles la continuation, sur une échelle

moindre, du phénomène qui a produit les terrasses.

On peut aussi conjecturer que l'absence des alluvions à l'extrémité de la pointe de Keweenaw et à l'Ile-Royale peut provenir de la dénudation produite par un abaissement momentané au-dessous du niveau du lac. On peut même indiquer à la pointe de Keweenaw le lac Portage comme axe de rotation.

Alluvions modernes.

Il ne faut pas confondre avec les alluvions anciennes les dépôts de sables que les rivières apportent sur les bords du lac, et qui forment à leurs embouchures des barres plus ou moins développées. On peut les étudier à Eagle-River, et surtout à Ontonagon; dans cette localité la côte est très-basse et formée des sables et graviers sur lesquels se déposent, jusqu'à une grande distance du rivage, les boues rougeâtres entraînées par la rivière.

La discussion des hypothèses qu'on peut faire pour expliquer les stries, les blocs erratiques, et les alluvions anciennes, m'entraînerait au delà des limites de mon travail. Cette question est d'ailleurs trop importante pour que j'ose l'aborder après un seul voyage, dans lequel mon attention s'est portée principalement sur les gisements de cuivre. J'espère la traiter dans un second mémoire après avoir visité de nouveau ces contrées lointaines. Je chercherai en même temps à constater d'une manière plus précise les relations qui existent entre le trapp et les conglomérats; car ces relations peuvent seules faire connaître si le trapp du lac Supérieur est réellement arrivé en parfaite fusion, ou s'il doit être considéré comme une roche métamorphique, représentant les grauwackes d'Europe.

(*La suite à la prochaine livraison.*)

VOYAGE AU LAC SUPÉRIEUR.

(ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.)

Exécuté en 1854 par M. L.-E. RIVOT, ingénieur des mines.

(SUITE.)

ÉCOLE IMPÉRIALE DES MINES

CHAPITRE III.

DES GISEMENTS DU CUIVRE ET DE L'ARGENT.

Âge des filons.

Dans le chapitre qui précède, j'ai exposé la constitution géologique de la contrée, sans parler des gisements de minerais de cuivre, de cuivre et d'argent natifs, qui sont évidemment postérieurs à la formation des terrains de trapp, de conglomérats et de grès. Leur postériorité est prouvée par la composition même de ces terrains et par la disposition des gisements.

Le cuivre et l'argent se trouvent partout dans des filons, qui courent parallèlement aux bancs de trapp, ou coupent presque à angle droit tous les terrains.

En dehors des filons on ne trouve aucune trace de cuivre dans les grès et dans les conglomérats; et si dans certaines zônes amygdaloïdes du trapp on a constaté l'existence du cuivre, la présence de ce métal s'explique aisément par la nature poreuse de la roche et par le contact immédiat des filons.

Il en résulte que les gisements de cuivre et d'argent sont postérieurs aux trapps, aux conglomérats et aux grès.

On doit donc admettre que les filons n'ont été produits que postérieurement aux terrains sédimentaires de l'époque silurienne inférieure. La disposition de tous les gisements explorés jusqu'à présent dans la

partie américaine du lac Supérieur concorde parfaitement avec cette conclusion; elle conduit à l'hypothèse que les gisements ont été produits par le remplissage ultérieur des fentes que le soulèvement a déterminées dans tous les terrains.

Gisements du cuivre.

Je ne m'occuperai pas des filons reconnus à l'île Michipicoten et sur la côte du Canada; leur importance n'est pas encore constatée, et je n'ai pas pu me procurer sur eux des renseignements positifs.

A l'Ile-Royale, à la pointe de Keweenaw, dans la région du Portage et dans la contrée d'Ontonagon, le cuivre natif et les minerais de cuivre se présentent dans des gisements bien différents, qui tous cependant se rapportent à un même mode de formation et à la même époque.

On peut distinguer :

1° Les filons à peu près verticaux, sensiblement perpendiculaires à la direction des bancs de trapp et des couches de conglomérats, traversant presque sans déviations ces deux terrains et même les grès.

2° Les filons parallèles aux bancs de trapp, soit en même temps en direction et en inclinaison, soit seulement en direction. Les premiers sont de vrais filons de contact, intercalés entre des bancs de nature différente; les seconds sont des filons véritables, presque toujours accompagnés de veines importantes pénétrant entre les bancs de la roche encaissante. Ils n'ont été jusqu'à présent explorés que dans le trapp; on ne les a pas cherchés dans le conglomérat, parce que l'on sait maintenant que ce terrain n'est pas métallifère, et que d'ailleurs il est recouvert en grande partie par les alluvions.

3° Les bancs amygdaloïdes très-poreux, imprégnés de cuivre natif, dont la richesse paraît n'être un peu notable que dans le voisinage des filons transversaux ou des filons parallèles à la direction des terrains.

Chacune des régions a sa nature spéciale de gisement : l'Ile-Royale et la pointe de Keweenaw possèdent principalement les filons transversaux; dans la contrée d'Ontonagon on exploite exclusivement les filons parallèles à la direction des bancs de trapp; dans la région intermédiaire du Portage on n'a reconnu que des filons de contact peu puissants, auxquels se lient les bancs d'amygdaloïde imprégnés de cuivre.

Relation avec les fractures dues au soulèvement.

Ce simple aperçu suffit pour montrer la relation intime qui existe entre le mode de gisement et le genre de fractures que le soulèvement a produites dans les terrains.

A l'Ile-Royale, éloignée du massif granitique du nord auquel on peut attribuer le relèvement, les fractures transversales sont en général peu prononcées, les filons sont peu puissants, et jusqu'ici n'ont pas été très-productifs.

A la pointe de Keweenaw, les bancs de trapp présentent des fentes verticales très-rapprochées, toutes normales à la direction : elles sont nombreuses au coude peu prononcé qu'on remarque vers l'est, et bien plus encore à l'inflexion très-forte que prennent les terrains auprès d'Eagle-River. Dans cette partie le soulèvement a produit en même temps une poussée vers le nord-ouest, en pressant les bancs les uns contre les autres; ils ont cédé à l'effort en se cassant transversalement, et les fissures les plus larges ont été remplies par les matières des filons, matières qui ont pu pénétrer jusqu'à une certaine distance dans les parties poreuses des roches amygdaloïdes.

Dans la contrée d'Ontonagon le terrain, soulevé et maintenu vers le sud et vers l'est, soumis en même temps à l'ouest à l'action comprimante des Porcupine-Mountains, a dû s'ouvrir dans deux directions, l'une

transversale, l'autre longitudinale vers l'intérieur de la courbe.

L'effet transversal est marqué par les fractures, ou vallées profondes, dans lesquelles coulent les rivières en tous les points qui offrent une variation partielle dans la courbure; l'effet longitudinal est indiqué par des filons qui se continuent à des distances considérables, parallèles aux bancs du trapp, ou les coupant en profondeur sous un angle très-aigu.

Le lac Portage est situé sur une fracture transversale ou faille bien caractérisée, des deux côtés de laquelle les terrains ne sont pas à la même hauteur; elle a été l'effet principal produit par le soulèvement dans cette partie de la contrée. Au nord et au sud de cette faille le trapp est peu tourmenté, et les matières des filons n'ont pu se faire jour que dans des fentes longitudinales peu continues, qui leur ont permis de pénétrer dans les bancs d'amygdaloïde; aussi le cuivre se présente-t-il principalement dans cette région disséminé dans les couches poreuses du trapp.

D'après ces relations, les gisements se trouvent dans les fentes produites par le soulèvement, remplies ensuite par un phénomène dont il est difficile de préciser le mode et le moment d'action.

Cette manière d'expliquer la disposition des gisements du cuivre est rendue plus certaine encore par l'étude des affleurements et des travaux d'exploitation.

Filons de la pointe de Keweenaw.

Je considère d'abord les filons de la pointe de Keweenaw, parce que ce sont les plus nets, et ceux qui mettent le plus en évidence l'influence de la roche encaissante sur la nature de la gangue et sur la richesse en cuivre.

Les filons sont assez bien connus depuis le greenstone jusqu'au bord du lac, mais au sud du trapp cristallin

on n'a fait d'explorations qu'au pied même de cette chaîne de montagnes. Les filons se prolongent bien loin vers le sud; on les a reconnus des deux côtés des Bohemian-Mountains, on a même commencé des exploitations au lac la Belle, près du mont Houghton, et au lac Gratiot. L'éloignement des ports de la côte septentrionale, la difficulté d'établir des chemins convenables dans un pays aussi accidenté, les résultats plus heureux obtenus dans le voisinage presque immédiat du greenstone, ont déterminé la concentration actuelle des travaux des mines dans la partie nord de la pointe de Keweenaw.

Des explorations faites au sud résulte la certitude que les filons traversent toute la contrée : on les voit, au nord dans la bande de conglomérat qui forme le rivage, se prolonger sous les eaux du lac aussi loin que la profondeur de l'eau permet de les apercevoir : au sud des Bohemian-Mountains, ils disparaissent sous les grès, qui, d'après l'obliquité probable du plan de rupture, doivent recouvrir en partie la tranche des terrains soulevés.

Dans la région qui s'étend depuis l'extrémité orientale de la Pointe jusqu'à la mine Albion, les filons transversaux sont extrêmement nombreux, leur distance ordinaire paraît comprise entre 200 et 600 mètres, et tous sont à peu près perpendiculaires à la direction du trapp : quelques-uns paraissent faire exception et couper les bancs sous un angle plus ou moins aigu; mais en les étudiant avec attention, on peut reconnaître qu'ils sont des veines détachées d'un filon principal ou qu'ils ne s'étendent en diagonale qu'entre deux filons normaux.

Plusieurs d'entre eux peuvent être suivis aux affleurements depuis le conglomérat du nord jusqu'aux grès

du sud, ce sont les filons principaux (main lodes); d'autres au contraire paraissent limités à certaines zones des terrains.

Il est du reste facile de comprendre que dans une contrée si peu habitée, couverte de forêts vierges, on n'a pu faire que des explorations incomplètes; et chaque jour voit s'augmenter la liste des filons qui traversent tous les terrains.

En passant d'un terrain dans un autre, ou d'un banc de trapp au suivant, les filons ne paraissent pas rejetés : cependant j'ai cru distinguer dans la partie orientale, entre Agate et Copperharbor, que les filons du sud ne correspondent pas à ceux du nord, et semblent rejetés vers l'ouest. Je n'ose rien affirmer à cet égard, en l'absence de travaux d'exploration convenablement suivis : mon opinion est basée seulement sur les caractères des affleurements. Il n'y a pas de concordance entre les caractères des deux parties, qui sont dans la même direction au nord et au sud du greenstone; il y a au contraire une ressemblance frappante entre plusieurs des filons explorés vers le nord et ceux qui vers le sud se trouvent à près de 200 mètres plus à l'ouest. Dans le voisinage de la vallée d'Eagle-River il n'y a certainement aucun rejet.

Dans toute la zone moyenne au sud du greenstone et au nord jusqu'aux bords du lac les filons paraissent très-réguliers; au contraire au sud des montagnes porphyriques, ils sont très-irréguliers et en général moins puissants que vers le nord.

Quant à leur allure elle est tout à fait analogue à celle de nos filons d'Europe : la veine principale est souvent accompagnée de veines secondaires, détachées au toit ou au mur, se réunissant à la première en profondeur et en direction. Dans les bancs d'amygdaloïde, la matière de remplissage pénètre à une certaine distance dans la roche encaissante; mais dans les terrains compactes les parois sont bien dessinées, et très-souvent des sallbandes argileuses établissent une séparation bien nette entre le corps du filon et ses épontes : dans le greenstone on ne distingue plus de veines principales, les filons se divisent en un grand nombre de veinules, qui se réunissent soit dans la roche cristalline, soit plus ordinairement dans l'amygdaloïde au sud, ou dans le trapp compacte au nord.

Relations des filons avec les terrains encaissants.

La matière de remplissage est à peu près la même pour tous les filons dans les terrains correspondants; elle est très-différente pour chacun d'eux dans les conglomérats et dans les diverses variétés du trapp.

Chaque zone des terrains imprime pour ainsi dire aux filons son cachet spécial : certains bancs de trapp ont aussi une grande influence sur la richesse en cuivre, et principalement sur l'état de combinaison de ce métal.

Chaque filon a sa richesse particulière, plus grande dans des zones déterminées; mais dans les mêmes zones, les filons qui présentent les plus grandes analogies pour la disposition des gangues, sont très-différemment riches.

Il est donc nécessaire de considérer successivement les relations qui existent entre la nature des terrains encaissants, la disposition des gangues et la richesse en cuivre.

Relations entre les terrains et la disposition des gangues.

Conglomérats. — Dans les conglomérats les filons n'ont pas de sallbandes, et la gangue est presque toujours du calcaire spathique, blanc laiteux, présentant des clivages très-marqués, mélangé avec un peu de quartz et plus rarement avec du sulfate de baryte presque noir. Dans les rares géodes se trouvent de magnifiques cristaux de calcaire de toutes formes, et

principalement le rhomboëdre primitif, l'équiaxe et le métastatique.

Les veines secondaires ne sont pas fréquentes; elles s'écartent peu de la veine principale et s'y réunissent à de faibles distances. Il serait peut-être plus exact de dire qu'il n'y a pas de veines secondaires, mais bien d'énormes fragments de la roche englobés dans le calcaire de la veine principale.

Trapp compacte et amygdaloïde. — Dans les bancs de trapp les filons sont remplis par du calcaire spathique, du feldspath, du quartz, de la chlorite, des fragments angulaires de toute grosseur de trapp plus ou moins altéré, et par une matière argileuse rouge, de la prehnite, de la laumonite, de l'analcime, de l'épidote et du sulfate de baryte.

L'analcime, quelques zoolithes et le sulfate de baryte sont presque toujours en cristaux isolés ou groupés dans les géodes; l'épidote et la laumonite sont ordinairement en veinules très-minces dans les parties voisines des masses de cuivre, et ne se présentent que très-rarement en cristaux bien nets.

La prehnite est fréquente en cristaux mamelonnés dans les géodes, dans le voisinage du cuivre ou sur le cuivre lui-même; intimement mélangée avec le quartz et le feldspath, elle forme une gangue compacte, très-dure, légèrement colorée en vert, et que les mineurs considèrent comme un très-bon caractère.

La matière argileuse rouge paraît provenir de la décomposition du trapp : elle se présente en zones plus ou moins épaisses aux épontes ou dans le milieu des filons; dans le premier cas elle constitue de véritables sallbandes; dans le second elle forme une séparation assez nette entre deux parties inégalement riches.

Les fragments angulaires du trapp sont tantôt verts, tantôt rougeâtres, quelquefois bien intacts, d'autres fois pénétrés de calcaire et de quartz. Ils sont plus petits et plus nombreux dans certaines parties, et sont empâtés dans du calcaire spathique, ou dans la gangue de quartz, feldspath et prehnite, que j'ai signalée précédemment. Ils donnent au filon l'apparence d'une brèche, dans laquelle dominent en un point la pâte presque blanche, dans un autre les fragments de toute grosseur et de toute coloration.

Dans plusieurs parties des filons, et souvent dans celles qui sont riches en cuivre, on remarque une texture bréchiforme indistincte; le ciment est rendu verdâtre par le mélange de grains très-petits, pour ainsi dire de poussière de trapp, et se fond avec les fragments dont les noyaux seuls font reconnaître la brèche.

Le quartz et le feldspath sont souvent mélangés avec le calcaire, dans le ciment des brèches, mais se présentent aussi seuls ou intimement mêlés, composant avec quelques fragments de trapp toute la gangue des filons. — Cette disposition est plus ordinaire dans les bancs de trapp compacte, voisins du greenstone, et la structure bréchiforme se remarque plus fréquemment dans les bancs tendres et dans l'amygdaloïde.

Le quartz en cristaux isolés, en général assez petits et bien nets, quelquefois légèrement violets, accompagne l'analcime et la prehnite dans les géodes des parties riches.

Le calcaire spathique blanc forme des veines très-puissantes, occupant toute la puissance des filons, ou toute la partie comprise entre une éponte et une bande intermédiaire de matière rouge.

Il est quelquefois en veinules, alternant avec de la chlorite, du quartz, de la laumonite et de l'épidote; il donne alors au filon un aspect zoné, rendu très-curieux

par la différence de couleurs que présentent les différents minéraux.

Enfin il entre à l'état de mélange plus ou moins intime dans les parties bréchiformes.

Le calcaire est plus abondant auprès des grands bancs de conglomérat, et sa présence en veines puissantes dans les parties des filons comprises dans les bandes de trapp, indique presque toujours des couches de grès ou de conglomérat, intercalées dans le terrain de trapp.

Greenstone.—Dans la zone montagneuse du greenstone les filons sont presque tous divisés en plusieurs veines, dont l'ensemble présente la même direction, sensiblement normale aux bancs de trapp cristallin. Elles sont quelquefois très-écartées les unes des autres et ne se réunissent en une seule veine que dans l'amygdaloïde au sud, et dans le trapp compacte au nord. Cette disposition générale porte à supposer que les cassures produites dans le greenstone par le soulèvement ont été moins nettes que dans les autres terrains.

La matière de remplissage des veines ressemble beaucoup à celle que présentent les filons dans le trapp compacte; elle paraît plus quartzeuse encore, et présente fréquemment l'aspect d'une brêche, dans laquelle les fragments de la roche encaissante sont espacés les uns des autres; le ciment est ordinairement compacte et formé de quartz, de feldspath et de calcaire mélangés, de manière à ce qu'il est difficile de discerner les minéraux.

Trapp porphyrique.— Je n'ai pas eu l'occasion d'étudier les filons dans la région du sud, des deux côtés des Bohemian-Mountains, et je n'ai pu me procurer des renseignements que sur la nature des minerais contenus.

Les descriptions de M. Jackson et de MM. Foster et

Whitney, assignent aux veines exploitées de ce côté une puissance assez faible, une grande irrégularité; elles indiquent pour les matières de remplissage, le quartz, le calcaire spathique, du feldspath et de nombreux débris de la roche (1).

Puissance des filons.—Dans le conglomérat, les filons ne présentent ordinairement qu'une seule veine bien encaissée, dont la puissance varie de 0^m 35 à 2^m. Dans le trapp, au contraire, les veines latérales paraissent assez fréquentes et s'écartent parfois beaucoup de la veine principale; elles offrent du reste les mêmes dispositions de remplissage dans les zones correspondantes. On les a négligées jusqu'à présent dans presque toutes les mines en exploitation, pour suivre en direction et en profondeur la veine qui présente le plus d'espérance de donner des masses de cuivre. Il ne faut pas à ce sujet faire la critique de la direction donnée aux travaux, car au lac Supérieur, plus encore que dans les districts des mines d'Europe, les difficultés sont grandes, et la conduite des exploitations est commandée par les circonstances dans lesquelles les mines sont placées. Je peux seulement regretter qu'on ne connaisse pas mieux les relations qui existent entre les filons et leurs veines latérales, auxquelles les Allemands du Harz, les mineurs par excellence, attachent à juste titre une si grande importance.

La puissance des filons est très-variable; elle dé-

(1) Je dois citer comme une exception aux caractères que je viens d'indiquer le filon qui passe derrière le phare de Eagle-Harbor. Il a été exploité dans l'amygdaloïde au bord du lac; on l'a trouvé rempli de laumonite mélangée avec un peu de quartz et du calcaire spathique, empâtant des fragments de la roche trappéenne. Son exploitation, d'abord abandonnée, vient d'être reprise à la fin de l'année 1854.

passe 3^{m} dans les renflements et descend à o^{m}15, et même o^{m}10 dans les étranglements; elle est plus grande dans l'amygdaloïde que dans le trapp compacte, plus forte vers le nord que vers le sud ; sa valeur moyenne paraît être comprise pour les différents filons entre o^{m}25 et o^{m}85. Je reviendrai plus loin sur ce sujet intéressant en décrivant les principales mines en exploitation.

Des métaux utiles contenus dans les filons.

Les filons contiennent comme métaux utiles le cuivre et l'argent. Le cuivre se présente soit à l'état natif, soit à l'état de minerais, sulfure, cuivre pyriteux, cuivre gris, oxyde noir, carbonate et silicate. L'argent est toujours à l'état natif, quelquefois seul dans le calcaire spathique, mais souvent mélangé avec le cuivre; ces deux métaux adhèrent fortement l'un à l'autre, au point qu'on peut travailler le cuivre à froid sans séparer l'argent; ils ne sont jamais combinés chimiquement, et même le mélange est toujours en parties discernables. L'analyse n'indique pas d'argent dans les échantillons de cuivre, dans lesquels ce métal ne se voit pas distinctement.

La richesse des filons en cuivre et en argent, et l'état de combinaison du cuivre, dépendent en grande partie de la nature de la roche encaissante. Cette influence, aussi importante au point de vue scientifique que sous le rapport industriel, n'a certainement pas seule présidé à la distribution des métaux dans les différents filons; mais elle est assez évidente pour qu'on doive l'étudier avec grande attention.

Pour l'exposer plus clairement, je vais indiquer successivement les résultats obtenus par les nombreuses recherches et travaux d'exploitation, dans les différents terrains que traversent les filons, depuis les bords du lac au nord jusqu'aux grès du sud.

Dans le conglomérat qui s'étend au bord du lac, de l'extrémité orientale de la Pointe à la baie de Agate, les filons ont été presque tous complétement stériles; un petit nombre a présenté des minerais oxydés, disséminés en petites masses dans la gangue de calcaire spathique. Un seul a produit des quantités un peu notables de minerais, cuivre oxydé noir compacte, cristallin ou terreux, du cuivre carbonaté et du cuivre silicaté ; il passe derrière le phare de Copper-Harbor, et a été exploré et même exploité en deux points par la compagnie qui possède maintenant Cliff-Mine. Les travaux ont été poussés jusqu'à une trentaine de mètres auprès du fort Wilkins, sur la limite de l'amygdaloïde, dans une colonne assez riche allongée vers le nord. Parmi les raisons assignées à l'abandon des travaux, on signale la disparition du minerai en profondeur, et principalement la richesse extraordinaire en cuivre natif que la compagnie a trouvé dans une autre localité. Quoi qu'il en soit, l'opinion de tous les mineurs du lac est que la bande de conglomérat est à peu près stérile et qu'ils ne peuvent espérer dans cette roche que des minerais oxydés, en des poches peu continues dans les filons.

Dans la zone étroite du trapp, immédiatement inférieure au conglomérat, les filons contiennent du cuivre natif, disséminé en petits grains dans la gangue, ou en masses irrégulières de toutes dimensions. Les travaux commencés ont été presque tous abandonnés, non pas tant par suite du peu de richesse des filons qu'à cause de la disposition du terrain; il fallait pour les continuer les pousser sous les eaux du lac à une grande distance des puits.

La grande zone de conglomérats et grès a été dans le principe le siége d'un grand nombre d'explorations,

mais toutes sont abandonnées depuis plusieurs années, parce que les filons sont complétement stériles. Je n'ai pu reconnaître la plus faible indication cuivreuse dans les nombreux affleurements que j'ai visités.

Les alternances de trapp, de grès et de conglomérat sont considérées comme peu métallifères : les filons renferment cependant du cuivre et de l'argent natifs dans les parties qui répondent au trapp ; ils sont stériles dans les grès et les conglomérats. Cette disposition remarquable a été bien reconnue sur les galeries d'écoulement des filons de Copperfalls (près de Eagle-Harbor), et c'est une preuve évidente de la grande influence exercée par la roche encaissante sur le mode de remplissage des filons.

L'argent natif se trouve presque toujours engagé dans le calcaire spathique, soit seul, soit mélangé avec du cuivre, et semble plus abondant près du conglomérat ; on ne doit encore rien affirmer au sujet de la position de l'argent, parce qu'on ne peut établir une règle générale d'après les résultats obtenus dans un petit nombre d'explorations.

Le cuivre natif présente la même disposition que dans les grandes zones de trapp, sur lesquelles je vais insister particulièrement.

Zone métallifère du nord. — On n'a fait dans cette partie que des travaux d'exploration, excepté dans la mine de Copperfalls, où l'exploitation est commencée sur une très-grande échelle.

Le cuivre se présente toujours à l'état natif, et l'argent n'a été constaté qu'en très faible proportion et près du conglomérat : aux affleurements on distingue le cuivre en très-petits grains disséminés dans la gangue et principalement en dehors des veines de calcaire spathique ; les petites masses de cuivre, pesant seulement

quelques kilogrammes, se rencontrent dans les sallbandes ou dans les zones de matière argileuse rouge. Le métal paraît plus abondant dans la profondeur, et les masses de cuivre deviennent plus puissantes ; au moins c'est ce qui a été observé dans les travaux de Copperfalls, et ce qu'on peut espérer par analogie pour plusieurs autres filons placés dans les mêmes circonstances géologiques.

Le cuivre ne paraît pas également réparti dans toute la largeur des filons, il est plus abondant dans les bancs de trapp amygdaloïde, et plus rare dans les roches dures et compactes.

Greenstone. — Les filons sont ou du moins passent pour très-pauvres en cuivre dans le greenstone, et la présence de l'argent n'a pas encore été signalée dans cette zone. Cette opinion est basée sur plusieurs tentatives infructueuses faites en différents points, notamment sur les filons qui se sont montrés riches en cuivre et même en argent au nord et au sud. Le cuivre ne se montre qu'en petits grains très-rares, ou en masses de très-faibles dimensions.

Zone métallifère du sud. — Cette zone s'étend au sud du greenstone jusqu'aux montagnes porphyriques ; mais les explorations n'ont été faites qu'au pied des escarpements du greenstone, ou à une très-faible distance vers le sud. On la considère maintenant comme la région métallifère par excellence, et on attache peu d'importance aux mines commencées vers le nord. Je ne considère pas cette opinion comme bien fondée, et je pense que dans la zone du nord plusieurs des filons explorés contiendront de grandes masses de cuivre : il suffit du reste de remarquer que la faveur dont jouit maintenant la bande de trapp située au sud du greenstone provient exclusivement de ce que la pre-

mière mine reconnue très-riche en cuivre, celle de Cliff-Mine, est placée au sud des escarpements de la roche cristalline.

Dans la zone du sud, le cuivre est toujours à l'état natif, en grains disséminés dans la gangue quartzeuse, ou en masses parfois considérables, occupant la totalité ou seulement une partie de l'épaisseur des filons; présentant parfois des géodes dans lesquelles les cristaux de cuivre sont associés à des cristaux de prehnite, d'analcime, de sulfate de baryte, etc. Les petites masses sont dans la matière argileuse rouge; les grandes sont souvent entourées de calcaire spathique; elles sont toujours plus nombreuses et plus fortes dans les parties des filons encaissées dans l'amygdaloïde, et cette roche est presque toujours pénétrée jusqu'à une certaine distance par les matières des filons. La forme et les dimensions des masses de cuivre sont extrêmement variables; la plus grande de toutes celles reconnues au lac Supérieur a été constatée en 1854 à la mine de South-Cliff (sur le prolongement au sud du riche filon de la Cliff-Mine). Je l'ai vue en place dans la mine, dégagée sur plus de 30 mètres en hauteur, 8 à 12 mètres en direction; en plusieurs points son épaisseur dépassait 2 mètres.

Les grandes masses de cuivre contiennent des noyaux de toutes dimensions, de la gangue des filons, du calcaire spathique mélangé avec du quartz, du feldspath et des fragments de trapp non altéré. Ces noyaux, entourés par des masses aussi considérables de cuivre, et ne présentant aucun indice d'altération, sont une preuve que le métal n'a pas été fondu : je peux citer comme seconde preuve de la formation du cuivre par voie humide, la présence de l'argent natif, déposé ou mélangé avec ce métal, mais jamais combiné avec lui.

L'argent a été rencontré dans plusieurs mines, notamment dans celle de Cliff, toujours engagé dans la gangue de calcaire spathique, très-souvent mélangé avec le cuivre, mais on n'a pas encore pu reconnaître la règle de sa distribution, c'est-à-dire la nature des bancs de trapp, dans lesquels on le rencontre plus spécialement. Il semble résulter des travaux d'exploitation de Cliff-Mine, que ce métal est plus abondant à la surface que dans la profondeur.

Il ne faudrait pas supposer, d'après ce que j'ai dit sur les masses de cuivre, qu'elles sont également fréquentes dans tous les filons, ou qu'elles affectent dans tous la même disposition. On peut au contraire signaler les plus grandes différences; ainsi :

A Cliff et à South-Cliff, les masses sont abondantes et de très-grandes dimensions à une faible distance de la surface; elles se continuent dans la profondeur, en formant des colonnes inclinées irrégulièrement vers le nord, à peu près comme les bancs du trapp; la gangue du filon est imprégnée de cuivre et fournit du minerai de bocard assez riche;

A Northwestern, dans une situation analogue, le filon s'est montré peu productif jusqu'à la profondeur de plus de 60 mètres; l'exploitation a produit du minerai de bocard et des masses de cuivre peu importantes. A une profondeur plus grande, on a trouvé de très-belles masses de 10 à 40 tonnes, qui sont encore loin d'égaler celles de Cliff et de South-Cliff, mais assurent à l'exploitation un avenir prospère;

A Northwest, située à l'est de la précédente et dans la même position géologique, les travaux sont déjà très-développés en profondeur et en direction, et n'ont pas fourni assez de cuivre pour payer les frais : les masses

de cuivre sont rares et de faibles dimensions, la gangue, bonne à bocarder, est elle-même pauvre en cuivre ;

A Eureka et dans bien d'autres mines, les travaux ont dû être abandonnés à la suite d'explorations infructueuses.

En comparant la nature et l'aspect des gangues de ces filons si diversement riches, on peut reconnaître quelques différences, mais elles ne sont pas assez tranchées pour qu'on puisse poser des règles générales.

De tous ces faits, il résulte que l'ingénieur ne peut donner un avis suffisamment motivé sur la valeur probable d'un filon, connu seulement par ses affleurements ; dans un très-petit nombre de cas il lui est permis de prévoir que le filon sera pauvre ; dans un cas seulement, celui où les masses de cuivre sont évidentes dès la surface, il lui est donné de prédire la richesse du filon. La valeur du gisement ne peut être reconnue, en général, que par des explorations sérieuses poussées à une grande profondeur, très-étendues en direction.

Au point de vue géologique, on serait tenté d'assigner une plus grande valeur aux filons voisins de Eagle-river, par la raison que de ce côté la direction des zones présente un coude assez prononcé, et que les cassures transversales sont plus nettes et plus fréquentes que partout ailleurs. Il faut cependant n'accepter cette indication qu'avec une grande réserve, car les exemples des mines Eureka, North-American, etc..., explorées non loin de Cliff-Mine, prouvent que dans cette région des filons très-pauvres existent à côté des filons très-riches.

Dans les deux zones métallifères, on trouve assez fréquemment le cuivre en dehors des filons, dans la

trapp, mais ce fait ne peut être observé que dans les bancs tendres, et principalement dans l'amygdaloïde : le cuivre est accompagné de quartz, de calcaire et de chlorite, et ces matières proviennent évidemment de la pénétration de la roche poreuse à l'époque du remplissage des filons. J'indiquerai bientôt que dans la contrée d'Ontonagon, la pénétration a eu lieu dans des proportions infiniment plus grandes, par suite de la disposition spéciale des gisements, parallèles aux bandes du terrain.

Trapp porphyrique du sud. — La région du sud, des deux côtés des montagnes de trapp cristallin et porphyrique, est peu connue, et maintenant presque abandonnée à la suite des résultats peu favorables qu'ont donnés les explorations. Ses filons, très-irréguliers, ne contiennent que peu de cuivre natif, mais bien des minerais sulfurés, cuivre sulfuré noir, cuivre pyriteux, cuivre gris : ils renferment de l'argent natif en faible proportion.

Ces filons sont sur la direction de ceux connus vers le nord, ils ont bien la même allure, présentent les mêmes gangues ; on doit les considérer comme fermés et remplis en même temps ; par conséquent, la différence qu'ils offrent pour l'état chimique du cuivre ne peut être expliquée que par l'influence de la roche encaissante au moment du remplissage.

Résumé. — Les filons transversaux sont extrêmement nombreux à la pointe de Keweenaw ; on doit les considérer comme des cassures traversant tous les terrains normalement à la direction des couches et des bancs, remplies postérieurement à une époque qu'il est impossible de préciser.

Les matières de remplissage sont arrivées en dissolution et non pas en fusion ; la nature de la roche en-

caissante a exercé une grande influence sur la distribution des gangues et des métaux, sur l'état chimique du cuivre. Dans le conglomérat, la gangue est principalement calcaire, les filons sont stériles ou contiennent des minerais oxydés du cuivre.

Dans le trapp compacte, grenu, amygdaloïde, la gangue est plus complexe, elle est formée de calcaire, de quartz, de feldspath, de chlorite, et des fragments et débris des roches encaissantes. Les filons contiennent de l'argent natif et du cuivre, toujours à l'état natif et parfaitement pur : ces deux métaux sont parfois mélangés et comme soudés l'un à l'autre, mais ne sont pas combinés. Le cuivre se présente disséminé en petits grains ou en masses irrégulières, dont les dimensions sont parfois colossales ; il est plus abondant dans l'amygdaloïde que dans le trapp compacte ; les parties des filons reconnues jusqu'ici les plus riches sont celles qui sont situées au nord du greenstone, mais rien ne prouve que dans la zône du Nord on ne mettra à découvert des richesses aussi grandes par des travaux d'exploration convenablement développés.

Les filons placés dans la même position géologique, présentant à peu près les mêmes gangues, sont cependant très-différents les uns des autres pour la richesse en cuivre.

Dans le greenstone, les filons sont peu riches et leur gangue est plus spécialement quartzeuse ; ils renferment encore le cuivre à l'état natif.

Dans la région du sud, on retrouve à peu près les mêmes matières de remplissage, mais le cuivre n'est plus à l'état natif ; il entre dans les filons à l'état de minerais sulfurés.

Si on considère que les bancs de trapp agissent fortement sur l'aiguille aimantée, qu'ils sont plus ou

moins bons conducteurs de l'électricité, on est porté à voir la preuve d'une action électrique énergique dans l'influence évidente que les terrains ont exercée sur les matières minérales des filons.

L'hypothèse de dissolutions minérales remplissant les cassures préexistantes soumises à des courants électriques, traversant plus ou moins facilement les bancs de trapp, difficilement les couches de grès et de conglomérat, me paraît expliquer assez heureusement tous les faits observés. Ce n'est qu'une hypothèse, sans doute, mais elle présente un certain degré de probabilité, et se trouve confirmée par la ressemblance frappante du cuivre contenu dans les filons avec celui que nous obtenons dans nos laboratoires par les procédés galvanoplastiques.

Couches imprégnées de cuivre.

Pour compléter ce qui est relatif aux gisements de la pointe de Keweenaw, il me reste à parler des couches imprégnées de cuivre, explorées ou simplement connues dans la zone métallifère du nord et à la limite du greenstone.

Les travaux d'exploitation de la mine de Copperfalls ont traversé une bande amygdaloïde, située presque à égale distance du conglomérat et du greenstone, imprégnée de quartz, de calcaire, de chlorite et renfermant du cuivre natif. Le cuivre est en petits grains, en feuillets et même en masses pesant plusieurs kilogrammes. La roche est traversée par de nombreuses fissures à peine discernables, remplies des mêmes matières que les cavités, et qui expliquent comment la roche a pu être aussi complétement pénétrée.

Lors de ma visite, on n'avait encore exploré ce singulier gisement que dans les parties voisines des filons, et je ne peux affirmer que le cuivre existe dans toute la bande ; ce sera un point très-intéressant à éclaircir pour

les compagnies possédant des concessions dans la zone correspondante.

Quant au remplissage des cavités de l'amygdaloïde, il est dû certainement au même phénomène qui a produit les filons.

J'ai dit précédemment que le greenstone est séparé des trapp du sud par un lit de conglomérat, épais seulement de $0^m,40$: au-dessous du conglomérat on peut voir une couche de $0^m.60$ de puissance, composée d'une matière feldspathique, presque blanche à l'affleurement, et ressemblant à du kaolin. Elle présente, en plusieurs points, notamment auprès de la mine de cliff, des mouches de cuivre. Aucune exploration n'a été faite dans cette couche, parce que nulle part les affleurements n'ont présenté une apparence assez favorable : je dois donc me borner à signaler son existence, qui pourra servir plus tard de terme de comparaison entre les terrains de la pointe de Keweenaw et ceux de l'Ontonagon.

Gisements de la contrée d'Ontonagon.

Dans la contrée d'Ontonagon le trapp est éloigné de la côte de 16 à 22 kilomètres, et tout le pays est couvert d'alluvions, d'argiles et sables. Ces conditions rendent les transports extrêmement difficiles et onéreux, car ils doivent se faire par la rivière ou sur des routes en planches, dont l'établissement est fort cher. Cependant des travaux d'exploration ont été poussés avec une activité surprenante, et plusieurs mines sont en pleine exploration; une d'elles, celle de Minnesota, possède des veines d'une richesse considérable, en cuivre et en argent, et paye de gros dividendes à ses actionnaires.

Les résultats obtenus dans cette exploitation ont produit le même résultat que ceux de Cliff-mine à la pointe Keweenaw, c'est-à-dire que les explorations ont été faites

dans tous les points analogues, dans ceux surtout où on pouvait espérer la continuation du gisement de Minnesota; le reste de la contrée a été relativement délaissé.

Il en est résulté qu'on connaît assez bien la bande spéciale de la zone de trapp, dans laquelle Minnesota est située, et qu'on ne possède que des indications assez vagues sur les autres parties du terrain métallifère.

Tous les gisements explorés jusqu'à présent sont dans le trapp, et sont parallèles, en direction, aux terrains; ils peuvent être considérés comme des filons présentant des veines intercalées entre des bancs de nature différente et d'autres veines coupant les bancs sous un angle très-aigu; fréquemment au contact des filons l'amygdaloïde est imprégnée des matières de remplissage et renferme du cuivre natif.

J'ai déjà signalé la disposition générale de la contrée dans la partie voisine de la rivière d'Ontonagon; elle présente trois séries irrégulières de montagnes, séparées par des vallées couvertes d'alluvions. Dans la chaîne du nord on a constaté l'existence du cuivre, mais on n'a fait que des explorations insignifiantes: les travaux ont été concentrés sur le versant méridional de la chaîne médiane et sur les chaînons détachés vers le nord de la chaîne du sud. L'alignement des chaînons est assez irrégulier, dérangé probablement par des failles nombreuses, et dans bien des points on est dans l'incertitude la plus complète sur la position réelle des gisements exploités.

J'indiquerai successivement les caractères principaux des filons dont la position est certaine dans la chaîne de Minnesota et dans la chaîne du Sud.

Chaîne de Minnesota. — Les mines de Minnesota, Rockland, National, etc., etc..., ont des travaux plus ou moins développés sur le même filon, parallèle à la direction des bancs, affleurant sur le versant méridional de la chaîne médiane. Sa disposition et son caractère restent sensiblement constants sur une très-grande longueur.

En profondeur, on ne sait pas encore ce que devient le filon; près de la surface il se divise en plusieurs veines, dont deux seulement sont bien explorées.

L'une d'elles, la veine du sud, est entre le conglomérat et le trapp (Voyez Pl. VIII, *fig.* 4), et représente un véritable filon de contact; la seconde, nommée veine du nord, coupe les bancs de trapp sous un angle très-aigu, affleure sur les plateaux parallèlement à la formation, et paraît se réunir à la première à une centaine de mètres au-dessous de ses affleurements.

Entre ces deux veines principales on a reconnu plusieurs veinules qui passent de l'une à l'autre, mais ne semblent pas mériter d'être exploitées.

Dans l'état actuel des travaux, il est impossible de distinguer laquelle des deux veines est le filon principal; la question sera bientôt éclaircie, car l'exploitation de la veine du nord à Minnesota doit prochainement atteindre le conglomérat.

Veine du Nord. La veine du nord est inclinée de 65° vers le N.-O.; son toit est peu net et n'est marqué que très-rarement par des sallbandes, il en est de même du mur; mais de ce côté le défaut de netteté peut s'expliquer assez facilement par les nombreuses veines secondaires qui se détachent vers la veine du sud. Sa puissance est assez variable, de $0^m.15$ dans les parties étranglées jusqu'à plus de 2 mètres dans les renflements.

Cette veine est remplie par du calcaire spathique,

du quartz, de la chlorite, de l'épidote verte, des fragments de trapp et une matière rouge de consistance argileuse, analogue à celle qui est si fréquente dans les filons de la pointe de Keweenaw. Elle renferme du cuivre natif en grains disséminés dans la gangue ou en masses de toutes dimensions, de formes très-irrégulières et généralement peu épaisses.

Le calcaire spathique se présente en veinules, ou en masses puissantes, ou bien même mélangé avec les autres matières minérales, principalement avec le quartz et l'épidote.

La matière argileuse rouge paraît provenir de la décomposition de fragments ou de zones de trapp, et se présente en feuillets, en veinules, en zones séparées des autres substances. On la trouve au toit ou au mur ou dans le milieu du filon.

Le quartz est souvent mélangé avec le calcaire et l'épidote, formant des zones distinctes, alternant avec de la chlorite, ou le ciment d'une brèche, dont les fragments angulaires proviennent de la roche encaissante.

L'épidote pure et cristalline se présente en veinules, mais plus ordinairement mélangée avec du quartz ou avec du calcaire; elle forme dans le filon des masses irrégulières, très-puissantes et continues, empâtant des fragments de trapp, parfois isolés, parfois assez rapprochés pour constituer une brèche.

La veine présente de nombreuses géodes, en partie remplies par de l'argile rougeâtre, et tapissées par des cristaux de quartz assez nets, et de dimensions quelquefois très-grandes.

Le cuivre est disséminé en grains dans les brèches quartzeuses, dans l'épidote quartzeuse et calcaire; il se montre en masses assez grandes dans le calcaire spathique; souvent même il remplit à lui seul toute la

veine, où pénètre sous forme de veinules dans le toit et dans le mur.

Les surfaces du cuivre engagé dans la gangue sont très-inégales, et tellement pénétrées qu'il est extrêmement difficile de les nettoyer sous le marteau. Les masses de cuivre les plus ordinaires pèsent de une à deux tonnes; on en a cependant rencontré dont le poids dépassait cinquante, soixante et même cent tonnes. La masse principale de la mine de cuivre de Minnesota a déjà fourni plus de deux cents tonnes de cuivre, et son épaisseur maxima est de $1^{m}.60$.

Dans plusieurs explorations peu profondes on a trouvé des masses importantes de cuivre oxydulé, et même de cuivre oxydé noir, de cuivre carbonaté et de cuivre silicaté. Ces oxydes proviennent de l'action des eaux atmosphériques sur le cuivre natif, qui existe encore au centre de toutes ces masses.

Le cuivre n'est pas également réparti dans toute l'étendue explorée de la veine; on a rencontré: tantôt le cuivre en grains disséminés dans la gangue, avec de petites masses; tantôt des masses de cuivre de grandes dimensions, abondantes déjà à une très-faible profondeur.

Il serait prématuré d'émettre maintenant un avis sur la distribution du cuivre; il faut attendre que les exploitations commencées aient pris un plus grand développement.

Veine du Sud.

La veine du sud a pour mur bien net le conglomérat, qui plonge vers le N.-O. sous un angle de 55°. Son toit est presque partout incertain, par suite des veinules nombreuses qui pénètrent dans le trapp, et dont plusieurs vont rejoindre les veines du nord. Le mur est marqué par des feuillets très-minces de matière argileuse rouge, ressemblant à du trapp chloritique broyé

et décomposé. En plusieurs points la veine est étranglée et le toit n'est séparé du conglomérat que par cette argile schisteuse. Dans les renflements, la veine est remplie par du calcaire spathique, d'un blanc laiteux, ou légèrement jaunâtre, mélangé avec un peu de quartz, de chlorite et d'épidote: mais la gangue dominante est toujours le calcaire.

La veine contient du cuivre et de l'argent natifs.

Le cuivre est très-rarement en grains disséminés dans le calcaire, il est presque toujours en masses irrégulières, pesant au plus huit à dix tonnes, toujours mélangées avec de l'argent natif. Les deux métaux sont adhérents, enchevêtrés l'un dans l'autre, mais ne sont jamais combinés: ils sont évidemment contemporains, et n'ont pas été produits par voie de fusion; autrement on les trouverait combinés.

L'argent se présente assez fréquemment séparé du cuivre, engagé dans le calcaire spathique en masses pesant plusieurs kilogrammes, ramifiées à l'infini, de manière à reproduire après l'enlèvement du calcaire, l'apparence d'un polypier. Je dois signaler, avant d'aller plus loin, une analogie frappante entre les deux régions, d'ailleurs si différentes, de la pointe de Keweenaw et d'Ontonagon. Les filons contiennent les mêmes substances, disposées à peu près de la même manière; l'argent se trouve toujours dans le calcaire spathique et près du conglomérat: le cuivre n'est jamais combiné à l'argent.

Gisements de la chaîne du Sud.

Dans les montagnes peu élevées qui forment les premiers contre-forts de la chaîne du sud, se trouvent des filons disposés comme les veines dont je viens de parler.

Leurs affleurements sont parallèles à la direction des bancs de trapp, et les filons les coupent dans la profondeur sous un angle assez aigu. Le trapp plonge de

55° vers le N.-O.; l'inclinaison des filons est de 65 à 70°. Ils se continuent, comme les premiers, sur une très-grande longueur, en conservant assez bien leurs caractères; mais en chaque point exploré ils sont moins nets, par suite de la nature amygdaloïde du trapp. Les matières de remplissage ont pénétré dans la roche poreuse, en sorte qu'on trouve en même temps les filons presque parallèles aux bancs de trapp, et le trapp imprégné des mêmes matières que les filons.

Ils contiennent du calcaire spathique, du quartz, de la chlorite, de l'épidote et des fragments de trapp avec du cuivre natif disséminé; mais les masses de cuivre sont rares et toujours de faibles dimensions (1).

Les exploitations produisent principalement de la roche à bocarder et sont loin de donner les brillants résultats de la mine du Minnesota.

La roche amygdaloïde présente les mêmes matières, soit en noyaux dans les cavités et dans les fissures, soit en masses ou en veines irrégulières, et ne peut produire aussi que de la roche à bocarder.

La disposition générale que je viens d'indiquer n'a été bien reconnue que dans la partie de la contrée voisine de la rivière d'Ontonagon; les gisements s'étendent bien loin vers l'ouest et vers le nord-est, mais il n'est plus facile de distinguer ceux qui appartiennent à la chaîne méridionale de ceux qui peuvent être dans la même position que Minnesota.

Résumé. Dans toute la contrée, la direction des filons est parallèle à celle du trapp, les filons ont des veines intercalées entre les bancs de nature différente, et d'autres veines qui les coupent sous un angle assez faible. Dans

(1) L'argent natif n'a pas encore été signalé dans les gisements du Sud.

tous les points où les veines ont rencontré l'amygdaloïde, la matière des filons a pénétré dans la roche et le cuivre est très-disséminé. Le cuivre se présente en masses considérables dans les filons bien caractérisés, et l'argent natif ne s'est montré que dans les veines de contact auprès du conglomérat.

Les matières et le mode de remplissage sont les mêmes que dans les filons de la pointe de Keweenaw; la différence qu'offrent les deux districts résulte du mode de fractures des terrains, longitudinales à Ontonagon, transversales à la Pointe.

Région du Portage. Les travaux d'exploration n'ont pas eu beaucoup d'activité dans la région du lac Portage, et n'occupaient pas plus de 400 ouvriers en 1854. Cette partie du terrain métallifère est par conséquent peu connue, et la disposition des gisements n'a été déterminée qu'aux affleurements.

Le cuivre natif, accompagné de calcaire spathique, de quartz, de chlorite, d'épidote et de laumonite, se présente en filons peu puissants et peu continus, intercalés entre des bancs de trapp poreux ou amygdaloïde. Ces roches sont imprégnées des mêmes matières et contiennent du cuivre en grains et en très-petites masses, quelquefois même de l'argent natif. On peut les suivre pendant plusieurs kilomètres, tandis que les filons eux-mêmes ne se prolongent pas au delà d'une centaine de mètres.

Ces gisements sont analogues à ceux de la contrée d'Ontonagon; dans les deux régions on trouve des filons parallèles aux terrains, et des bancs de trapp poreux imprégnés au contact. Dans l'Ontonagon, les filons sont parfaitement caractérisés et bien continus; les bancs d'amygdaloïde ne sont imprégnés que dans les parties voisines des filons. Au Portage, les veines

sont peu continues et prennent la disposition de fissures orientées, pareilles à celles qui renferment les minerais de zinc et de plomb dans la grauwacke des bords du Rhin : les zones de trapp contenant le cuivre et les autres minéraux des filons, sont très-développées et deviennent les gisements principaux.

Ces différences s'expliquent aisément par les considérations que j'ai présentées au commencement du chapitre sur les fractures que le soulèvement a dû produire dans les terrains.

Ile-Royale. L'Ile-Royale a été explorée par un certain nombre de compagnies, mais les résultats obtenus n'ont pas été très-favorables; deux mines sont seules maintenant en exploitation, à Rock et Todd'sharbor, et produisent une quarantaine de tonnes de cuivre.

Les filons se rapportent à deux systèmes : l'un normal aux couches du terrain, l'autre parallèle en direction, mais plongeant vers le nord, tandis que l'inclinaison du trapp est au sud.

Les filons transversaux présentent la plus grande analogie avec ceux de la pointe de Keweenaw; ils sont peu puissants et remplis par du calcaire spathique, du quartz, de la chlorite, des fragments de trapp. Ils contiennent le cuivre à l'état natif, en grains disséminés dans la gangue ou en petites masses irrégulières, et paraissent plus riches dans l'amygdaloïde que dans le trapp compacte. Les géodes ont présenté quelques-uns de ces beaux cristaux de zéolithes qui sont fréquents dans les filons de la Pointe, et qui manquent presque complétement dans les gisements de l'Ontonagon.

Canada. Plusieurs recherches ont été faites au nord et à l'est sur les côtes du Canada, mais jusqu'à présent on n'a découvert aucun filon dont la richesse puisse être comparée à celle des gisements de la partie américaine du lac.

Les filons sont très-irréguliers, presque normaux aux bancs de trapp, et remplis par du calcaire et par du quartz; ils contiennent un peu d'argent natif et des minerais de cuivre, principalement le cuivre pyriteux et le cuivre gris. Quand ils auront été mieux étudiés, il sera peut-être possible d'établir une relation avec ceux explorés au sud des Bohemian-Mountains, du côté du Lac-la-Belle et du lac Gratiot.

Le plus important des filons reconnus au nord est celui de l'île nommée Spar-Island; son affleurement, puissant de 3 à 4 mètres, peut se distinguer à une grande distance, grâce au contraste de la couleur blanche du calcaire et du quartz avec la teinte foncée de la roche encaissante. Il a produit des minerais de cuivre et un peu d'argent; vers le nord, on l'a trouvé renfermant beaucoup de blende.

Mine Bruce. La formation trappéenne s'étend bien au delà des limites du lac Supérieur, et renferme également des filons plus ou moins riches en minerais de cuivre. Ainsi, on exploite à l'île Saint-Joseph, à 80 kilomètres au sud du Saut-Sainte-Marie, un filon de quartz contenant du cuivre pyriteux très-abondant, et traversant un terrain de trapp, de jaspe et de quartzite. La mine Bruce est maintenant dans une bonne position; elle expédie près de 200 tonnes de minerai par mois à l'usine de Boston, et donnera des dividendes à ses actionnaires, après avoir commencé par faire d'énormes dépenses presque sans résultat utile.

Les districts produisant le cuivre au lac Supérieur sont, d'après ce qui précède, la Pointe de Keweenaw, l'Ontonagon, le Portage et l'Ile-Royale. Dans cette partie de la contrée, les gisements sont postérieurs à la

formation des terrains ; on peut réunir à ce sujet deux genres de preuves : le premier résultant de la composition des grès et des conglomérats, le second dérivant de la disposition des gîtes.

J'ai déjà fait connaître, au commencement et vers le milieu de ce chapitre, les conclusions que l'on peut tirer de la composition des terrains et de la disposition des filons de la Pointe de Keweenaw. Il me paraît utile d'insister encore un peu sur ce sujet, afin de mettre mieux en évidence que, dans toute la partie bien explorée du lac Supérieur, le cuivre et l'argent sont arrivés après la formation des terrains.

A la pointe de Keweenaw, les deux métaux sont dans des filons presque partout nettement encaissés, traversant les bancs de trapp, de conglomérat et de grès. Les minéraux des filons ne se trouvent dans la roche encaissante qu'au contact même et à une faible distance des veines, et seulement dans le cas où cette roche est très-poreuse. La pénétration des matières qui ont rempli les filons dans le trapp préexistant est alors bien évidente.

Il est donc bien certain que le remplissage des filons est postérieur à la formation des trapps, des conglomérats et des grès : on est porté à conclure que les filons de la Pointe de Keweenaw sont les fentes produites par le soulèvement, remplies à une époque qu'il est bien difficile de préciser dans l'état actuel des explorations.

Si maintenant on considère la disposition des minéraux et des métaux contenus dans les filons; la présence, dans les énormes masses de cuivre, de noyaux présentant un mélange de calcaire, de quartz, de chlorite, de fragments de trapp ; le contact et l'adhérence du cuivre et de l'argent, qui ont tant d'affinité l'un

pour l'autre à une température élevée, et qui cependant ne sont pas combinés; on doit être convaincu que le remplissage des filons n'a pu se faire que par voie humide.

L'influence évidente que les roches ont exercée sur la distribution des minéraux, sur l'abondance et sur l'état chimique du cuivre, conduit à penser que l'électricité a dû jouer un très-grand rôle dans ce phénomène.

En restant en dehors de toute hypothèse, on peut conclure avec certitude, pour la pointe de Keweenaw, que les filons sont postérieurs aux terrains, qu'ils ont été remplis par voie humide.

Les gisements de la contrée d'Ontonagon et de la région du lac Portage, présentent avec les filons de la Pointe des analogies et des différences.

La nature et la disposition des matières minérales dans les veines bien définies, leur dissémination dans le trapp amygdaloïde, et par conséquent poreux et d'une pénétration facile ; l'absence complète de ces matières dans tous les bancs compactes, offrent des analogies tellement évidentes avec les faits observés à la Pointe, qu'on est forcé d'admettre que tous les gisements ont été produits en même temps et par le même phénomène.

D'un autre côté, les différences principales entre les trois districts peuvent être facilement expliquées si on admet l'hypothèse extrêmement probable que tous les gîtes ont été formés dans les fentes préexistantes. J'ai déjà indiqué les directions des fractures dues au soulèvement que révèle l'étude des terrains ; elles sont normales à la pointe de Keweenaw, et parallèles aux formations dans l'Ontonagon et le Portage : on comprend alors très-aisément comment, à la Pointe, on rencontre presque exclusivement les filons transver-

saux, tandis que dans les deux autres régions on ne connaît que des filons de contact, des veines plus ou moins continues, souvent en connexion avec des bandes d'amygdaloïde imprégnées des mêmes matières minérales.

Par ces considérations, on arrive à la conclusion suivante : dans toute la partie explorée du lac Supérieur, les gisements de cuivre, contenant fréquemment de l'argent natif, sont postérieurs à la formation de trapp, de conglomérats et de grès ; ils ont été formés par voie humide dans les fentes produites par le soulèvement.

Il me paraît assez probable que les filons de l'Ile-Royale, ceux du Canada, à l'est et au nord, celui de la Bruce-Mine, près du lac Huron, ont été formés en même temps que ceux considérés précédemment. Cependant, je n'avancerai rien à leur égard avant de les avoir visités.

CHAPITRE IV.

DES MINES AU LAC SUPÉRIEUR.

Les exploitations de cuivre natif au lac Supérieur ont pris en peu de temps une importance, que bien peu de personnes en Europe sont en position d'apprécier. Je vais essayer de faire connaître la situation des mines dans les deux principaux districts de la pointe de Keweenaw et de l'Ontonagon, en évitant d'entrer dans trop de détail au sujet des travaux récemment commencés. On comprendra facilement que la plus grande réserve m'est imposée, en présence de la spéculation dont les mines de ce pays seront longtemps encore le point de mire. Je dois me borner à l'exposé de la situation générale, et à la description d'un petit nombre de mines, choisies comme exemples des résultats obtenus.

Je dirai d'abord quelques mots des anciens travaux, qui existent dans toutes les parties explorées ; j'exposerai brièvement le mode d'exploitation adopté maintenant, la préparation mécanique et la fonte en lingots ; je décrirai plusieurs des mines de la pointe de Keweenaw et de l'Ontonagon ; je terminerai par quelques considérations sur la production de la contrée.

Je n'aurai pas à m'occuper de l'argent, qui est encore un produit accidentel pour la plupart des exploitations. Une grande partie de ce métal, que plusieurs filons contiennent en forte proportion, est perdue par suite de son mélange intime avec le cuivre ; une autre partie disparaît malgré la surveillance très-sévère exercée par les directeurs.

§ I. — *Des anciens travaux.*

Dans toute la contrée dans laquelle les explorations récentes ont signalé le cuivre natif, on a constaté l'existence d'anciens travaux d'exploitation : plusieurs d'entre eux doivent avoir été faits à une époque très-reculée, car les déblais, formant des monticules assez étendus, sont recouverts d'une épaisseur très-grande de terre végétale, et supportent des arbres séculaires, pareils à ceux des autres parties des forêts.

En d'autres points les excavations paraissent bien plus modernes, et abandonnées tout récemment.

Dans un grand nombre on a trouvé des anciens marteaux, du charbon de bois, des leviers, qui permettent de conjecturer de quelle manière les anciens ont travaillé. Les marteaux sont des pierres dures, arrondies, autour desquelles on a creusé une ceinture pour fixer

le manche en bois; ils ressemblent beaucoup à ceux qui ont été découverts dans plusieurs localités d'Europe, notamment en Espagne, dans des excavations évidemment très-anciennes.

Le charbon de bois et les leviers ont été trouvés auprès des grandes masses de cuivre, dégagées sur toutes leurs faces, arrondies sur tous les angles. Il est facile de comprendre que les anciens ouvriers, dépourvus des moyens énergiques que nous possédons maintenant, ont abattu avec leurs marteaux de pierre toutes les parties saillantes, et qu'ils ont cherché ensuite à diviser les masses de cuivre en les soumettant à un feu violent. Les leviers qui portent souvent les marques d'un long service, leur ont servi probablement à transporter des petites masses ou à chercher à détacher les masses plus considérables qu'il ont, en fin de compte, laissées en place.

Nulle part on n'a trouvé de scories, ni de trace d'une préparation mécanique : les vieux mineurs n'ont donc cherché que les petites masses de cuivre, celles qu'ils pouvaient utiliser aisément.

Les vieux travaux sont nombreux au nord et au sud du greenstone, dans le district de la pointe de Keweenaw; ils sont plus nombreux et plus importants dans la contrée d'Ontonagon, à l'est et à l'ouest de la rivière. Tous sont arrêtés à une faible profondeur, de 3 à 12 mètres, suivant la configuration des terrains, et n'ont pas été poussés plus bas à cause des eaux.

Ils présentent partout la même disposition; ils ont évidemment été faits à des époques différentes, avec des moyens d'action constants, les marteaux de pierre et le feu.

En rapprochant ces faits des renseignements rapportés par les missionnaires jésuites et les plus anciens

voyageurs, on peut conclure que les mines de cuivre natif ont été de tout temps exploitées par les Indiens peaux rouges, résidant, en faisant seulement des excursions dans la contrée.

Cette conclusion est intéressante au point de vue historique, parce qu'elle exclut l'hypothèse d'une race différente des Indiens actuels, qui aurait occupé le pays à une époque inconnue, et fait des exploitations suivies dont la race rouge n'aurait pas été capable.

Elle est plus importante encore pour les compagnies qui entreprennent des explorations, parce que l'étude des anciens travaux permet de reconnaître l'importance probable des gîtes que les Indiens ont exploités.

Il est évident que les travaux anciens très-développés, et par suite continués pendant de longues années, n'ont été faits par les Indiens que sur des affleurements très-riches en petites masses de cuivre, tandis que des encavations peu profondes, autour desquelles on ne remarque que des déblais insignifiants, correspondent à des filons pauvres à la surface.

On ne connaît pas encore d'une manière bien certaine la relation qui existe entre la richesse en cuivre, à la surface et l'abondance des grandes masses dans la profondeur, mais il est permis d'admettre que les filons riches à la surface seront probablement d'une exploitation plus avantageuse que ceux dont les affleurements ont été pauvres.

A ce point de vue l'étude des anciens travaux donne à peu de frais des indications extrêmement utiles; elles perdraient beaucoup de leur netteté, si par des explorations plus étendues on venait à découvrir qu'une race plus civilisée que les Indiens les a précédés dans l'exploitation des mines. Les tas immenses de déblais,

les excavations développées pourraient alors s'appliquer à des gisements moins riches.

§ II. — *Exploitations actuelles.*

Les premières explorations ont commencé vers l'année 1842, presqu'au hasard, sur les indications contenues dans les relations des missionnaires, et sur les données incertaines, fournies par les deux missions du gouvernement et par les voyages de M. Douglas Houghton. Des sommes énormes ont été dépensées sans résultat utile, en recherches faites dans les terrains non métallifères; les efforts persévérants du docteur Jackson, de plusieurs directeurs de mines et des géologues auxquels on doit l'achèvement de la carte géologique, ont enfin donné aux travaux une direction convenable.

Les développements dans lesquels je suis entré, sur la constitution géologique et sur la disposition des gisements, montrent quel pas immense a été fait dans un intervalle de temps aussi court. Il reste encore beaucoup à faire pour compléter l'étude des filons, pour arriver à connaître, d'après les affleurements et la position géologique, les résultats que peut donner la mise en exploitation.

Il faut encore, au moment actuel, des travaux considérables en profondeur et en direction, pour fixer la valeur d'un gisement; on peut citer plusieurs exemples de filons, pauvres à la surface, trouvés très-riches dans la profondeur, et des exemples aussi nombreux de filons ou de gisements placés à peu près dans les mêmes conditions, dans lesquels l'enrichissement en profondeur ne s'est pas présenté.

Ces différences sont peut être plus sensibles à la pointe de Keweenaw que dans la contrée d'Ontonagon, car il semble que dans ce dernier district les résultats

obtenus en profondeur correspondent mieux aux indications des affleurements.

On a commencé des recherches dans beaucoup de filons, sans avoir des moyens suffisants pour continuer les travaux; on n'a obtenu aucun résultat, je puis ajouter qu'on ne devait pas espérer d'en obtenir, car il faudra toujours des capitaux assez forts pour mettre en exploitation un filon, même très-riche à la surface, au lac Supérieur, plus encore que dans un autre pays.

A la pointe de Keweenaw le nombre des recherches commencées puis abandonnées pour ce motif est assez grand, et pour la plupart l'abandon des travaux n'implique pas la pauvreté des filons.

Plusieurs compagnies puissantes ont entrepris des explorations et les ont poussées avec persévérance. Les unes, et c'est le plus petit nombre, ont fait de grands bénéfices; les autres poursuivent en profondeur des gisements trop riches pour être abandonnés, trop pauvres jusqu'à présent pour couvrir toutes les dépenses.

La contrée du lac Supérieur présente donc les phases ordinaires de tous les districts miniers : des anciens travaux; des explorations stériles; des recherches abandonnées peut-être à tort et par manque de capitaux; des exploitations soutenues par l'espérance d'un avenir plus favorable; des mines excellentes, mais en petit nombre, dont les heureux résultats attirent vers les entreprises de mines les capitaux et la spéculation.

L'ouverture du canal du Saut Sainte-Marie développera beaucoup les communications du lac Supérieur avec le monde civilisé, et donnera probablement une impulsion nouvelle à tous ces travaux; elle abaissera

les frais de transport de toutes les matières nécessaires aux exploitations et aux habitants; et surtout elle rendra les expéditions plus certaines, en permettant aux grands navires du lac Huron et du lac Érié de pénétrer jusqu'aux ports du lac Supérieur.

Mode d'exploitation.

Le mode d'explotation des filons diffère en certains points de la méthode suivie en Angleterre. On reconnaît le filon par des puits inclinés, sur lesquels on installe successivement, à mesure que les travaux sont plus développés, des treuils, des manéges à chevaux, des machines à vapeur, soit pour l'extraction, soit pour l'épuisement.

On pousse en direction des galeries espacées d'environ 20 mètres, communiquant par des cheminées. Un de ces niveaux débouchant au jour sert de galerie d'écoulement, et facilite les travaux jusqu'à l'installation des machines.

Les massifs, découpés par les galeries et les cheminées, sont exploités par gradins renversés, et les vides sont remblayés assez incomplétement avec les matières stériles. Le terrain est très-solide et, par suite, l'imperfection des remblais ne présente d'autre inconvénient que celui d'exiger beaucoup de bois pour les soutenir.

Dans les parties contenant de grandes masses de cuivre, les travaux sont nécessairement irréguliers; les galeries sont faites dans le mur, en suivant les masses et pratiquant dans les intervalles des traverses pour reconnaître le filon.

L'abatage des grandes masses est assez complexe : on commence par le dégager au toit et au mur, en ne laissant de ce côté qu'un vide peu large du côté du mur. Si les dimensions en hauteur ne sont pas trop grandes, on fait tomber la masse d'un seul morceau

sur le niveau inférieur au moyen de barils de poudre placés derrière.

Si au contraire la masse de cuivre s'étend d'un niveau à l'autre, on la divise au ciseau en grands morceaux qu'on puisse détacher d'une pièce, et en choisissant pour les lignes de division les points les moins épais. On fait ensuite tomber à la poudre les morceaux coupés successivement, en commençant par la partie supérieure.

Une fois la masse ou ses grands morceaux abattus sur le sol d'un niveau, on les coupe en fragments dont le poids varie de 1 à 2 tonnes : la section est faite au ciseau, en pratiquant des rainures (1) par l'enlèvement de copeaux. On place les fragments sur des chariots, et on roule sur chemins de fer jusqu'au puits spécial destiné à l'enlèvement des masses, et muni d'un cabestan à deux ou quatre chevaux.

Dans les mines les plus riches, on remplace maintenant les puits inclinés par des puits verticaux, placés en dehors des filons. La dépense est considérable en raison de la dureté de la roche et du haut prix de la main-d'œuvre.

A la mine de Copperfalls, les galeries d'écoulement sont commencées à différents niveaux en même temps, et les travaux préparatoires sont très-développés; dans toutes les autres on abat les masses de cuivre et les parties des filons imprégnées de cuivre, en même temps qu'on pousse les travaux en profondeur et en direction; la production ne peut être régulière; elle

(1) Les rainures ont 2 centimètres de large; le travail est très-long et coûte fort cher, de 45 à 75 fr. par pied quarré de surface coupée; la présence de noyaux de roche dans le cuivre empêche l'emploi d'autres instruments que le ciseau et le marteau.

suit à très-court intervalle la richesse reconnue à l'avancement.

On néglige fréquemment l'exploration des veines latérales, même quand on les constate en suivant le filon principal, à moins qu'elles ne présentent, au point de réunion, du cuivre natif en abondance. Je n'ai vu dans aucune exploitation des traverses un peu longues dirigées en recherche des veines, dont la présence est rendue probable par la configuration du terrain. J'ai déjà dit précédemment que l'absence de travaux dans les veines latérales est expliquée, sinon commandée, par le haut prix de la main-d'œuvre et par les circonstances difficiles dans lesquelles les mines sont placées. On ne doit pas s'attendre à trouver dans un pays à peine habité, après quelques années d'activité, le développement régulier des recherches, des travaux d'avenir et d'exploitation qui sont le résultat d'une longue tradition, et que plusieurs districts d'Europe ne présentent pas encore.

Produits des mines.

Les produits amenés au jour sont :

1° Les masses de cuivre plus ou moins engagées dans la gangue et les morceaux déjà coupés ;

2° Les roches imprégnées de cuivre et les parties stériles, qu'un triage rapide, fait dans la mine, ne permet pas de séparer complétement.

Les petites masses de cuivre sont débarrassées à coups de marteau de la gangue engagée dans les aspérités de la surface; les fragments déjà coupés sont divisés en blocs plus faciles à transporter ; ces produits sont envoyés au port pour être embarqués et portés aux fonderies pendant les mois de navigation. Ils contiennent ordinairement de 75 à 85 pour 100 de cuivre pur.

La gangue et les roches imprégnées de cuivre passent au triage ; on sépare les parties stériles, tout le reste est envoyé à la préparation mécanique, établie à peu de distance des puits d'extraction. La teneur en cuivre de ces matières est très-variable, on en retire ordinairement de 1 1/4 jusqu'à 5 1/2 pour 100 de métal bon à fondre.

J'indiquerai très-brièvement les opérations successives de la préparation mécanique, sans discuter les détails et sans indiquer les modifications qui sans aucun doute seront apportées dans un avenir assez rapproché.

Préparation mécanique.

Première opération. *Calcination en plein air et en grands tas.* — Elle a pour but de rendre plus friables les roches et les gangues imprégnées de cuivre, et de faciliter le cassage au marteau, qui doit précéder le bocardage. On peut la considérer principalement comme un moyen d'économiser la main-d'œuvre.

Les tas ont la forme d'un tronc de pyramide à base carrée ; les dimensions sont nécessairement très-variables, on peut admettre en moyenne 6 à 8 mètres pour le côté de la base, et 5 à 6 mètres pour la hauteur.

Sur le sol, on dispose un lit de bois de trois à quatre rangées de bûches, en ménageant des canaux pour la mise en feu ; par dessus, on élève le tas, en ayant soin de placer à la partie inférieure les plus gros morceaux de roche; les menus sont jetés au-dessus, dans le but de concentrer davantage la chaleur plutôt que pour leur faire subir une calcination inutile.

Quand le tas est construit, on allume le bois et on le laisse brûler lentement; quand tout est froid, on enlève progressivement les matières pour les porter au bocard. On trouve encore bien des gros morceaux au centre desquels la chaleur n'a pas pénétré, et qu'il faut

casser au marteau, mais leur nombre est moindre et le travail plus facile qu'avant la calcination.

Dans plusieurs ateliers, j'ai vu faire un triage et une nouvelle séparation des morceaux stériles après le cassage au marteau qui suit la calcination. Pour d'autres mines, le triage n'est pas aussi nécessaire, parce que toute la roche amenée au jour est plus ou moins imprégnée de cuivre.

Deuxième opération. *Bocardage des minerais calcinés et cassés au marteau* (1). — Les bocards sont disposés par batteries de quatre pilons, et mis en mouvement par des machines à vapeur de la force de 15, 20 et même 40 chevaux. Les sabots sont en fonte et les flèches en sapin, et chaque pilon ne pèse pas moins de 350 kilogrammes. La levée, produite par des cames, varie de $0^m,15$ à $0^m,20$. On admet qu'un pilon peut bocarder près d'une tonne de minerai par vingt-quatre heures; mais le poids bocardé dépend nécessairement de la dureté de la roche, de la grosseur des morceaux et du degré de finesse qu'on cherche à obtenir, en élevant plus ou moins au-dessus de la sole l'orifice de sortie de l'eau et des matières pulvérisées.

En avant des batteries sont disposés des plans inclinés triangulaires, sur lesquels la lavée doit couler rapidement, en laissant déposer seulement les grenailles de cuivre; les sables et les matières fines sont entraînées plus loin sur des caissons allemands et sur des tables dormantes.

Le bocardage donne par suite trois produits différents :

(1) Je donnerai le nom de *minerai* aux roches imprégnées de cuivre natif; ce nom est commode pour l'exposé des opérations; mais il ne faut pas oublier qu'il ne s'agit pas ici de véritables minerais de cuivre.

a. De petites masses de cuivre qui sont trop lourdes pour être entraînées par l'eau et restent sous les pilons; on les enlève à des intervalles inégaux quand on voit, à la marche des pilons, que leur épaisseur est devenue notable;

b. Des petites grenailles de cuivre, mélangées avec du gros sable, arrêtées sur les plans inclinés devant les batteries;

c. Des sables et des grenailles fines, entraînés par l'eau sur les caissons.

Le premier produit *a* est souvent très-riche et renferme de 75 à 90 pour 100 de cuivre pur; il est envoyé directement à la fonte. Le second produit *b* n'est presque jamais assez riche en cuivre pour être fondu; il est enrichi sur des cribles à bras, qui produisent du stérile et des grenailles bonnes à fondre; on les désigne sous le nom de stamp n° 1; elles contiennent ordinairement de 75 à 80 pour 100 de cuivre, et souvent un peu d'argent natif.

Le troisième produit *c* est enrichi successivement sur des caissons et sur des tables dormantes.

Troisième opération. *Enrichissement des matières fines.* — Les caissons sont larges de $0^m,40$, longs d'environ 2 mètres, inclinés de 6 à 7 degrés. Les tables dormantes sont disposées comme celles de Schemnitz, en Hongrie, mais leurs dimensions sont bien plus petites : leur longueur ne dépasse pas 2 mètres.

La lavée est conduite des plans inclinés sur les caissons, et laisse déposer près de la tête les gros sables et les grenailles de cuivre et argent. Les sables plus fins et les fines parcelles de cuivre sont entraînés sur les tables dormantes.

Tout ce qui n'est pas arrêté sur les deux séries de

caissons et de tables est considéré comme trop pauvre pour qu'on puisse en tirer parti, et perdu.

Sur les caissons et sur les tables on enrichit successivement, par des opérations séparées, les sables gros et fins restés en tête; on obtient deux produits, stamp n° 2 et n° 3, dont la teneur en cuivre pur varie :

De 40 à 52 p. 100 pour le stamp n° 2,

De 25 à 30 p. 100 pour le stamp n° 3.

Dans une exploitation de la contrée d'Ontonagon, celle de Ridge-Mine, j'ai vu un appareil analogue aux round-buddle, remplaçant avantageusement les caissons et les tables dormantes; bientôt cet appareil sera employé dans un plus grand nombre d'ateliers de préparation mécanique.

Je n'ai pas besoin d'entrer dans plus de détails pour faire comprendre le mode de préparation adopté au lac Supérieur; les ingénieurs saisiront facilement dans quel sens il faudrait le modifier pour perdre moins de cuivre sans augmenter la dépense en main-d'œuvre.

La teneur moyenne en cuivre des produits d'une mine, préparés pour la fusion, est assez variable; elle dépend principalement de la proportion des grandes masses de cuivre que renferme le filon, et des soins apportés à l'exploitation. Elle varie de 70 à 75 p. 100 pour les mines les plus riches, et de 55 à 58 p. 100 pour les filons qui contiennent peu de grandes masses et livrent surtout des roches à bocarder.

Main-d'œuvre.

Avant de parler du traitement métallurgique des produits des mines, il me paraît utile de donner quelqnes renseignements sur les prix de la main-d'œuvre, pour les ouvriers spéciaux et pour les manœuvres.

Les ouvriers sont assez rares, principalement ceux qui sont habiles dans une spécialité; et toute entreprise nouvelle doit amener les ingénieurs, les contre-maîtres

et même un petit nombre d'ouvriers spéciaux. Ainsi, les principaux mineurs, ceux qu'on pourrait nommer les sous-officiers des mines, les ingénieurs, viennent presque tous de l'Angleterre. Les mineurs et les manœuvres sont des Américains, des Français et des Canadiens.

Presque tous les travaux sont donnés à l'entreprise, et les prix sont assez élevés pour que les manœuvres les moins habiles puissent gagner 5 francs par jour; les bons mineurs reçoivent ordinairement de 240 à 250 francs par mois; ils doivent payer toutes leurs dépenses, telles que l'éclairage, la poudre, les réparations d'outils, etc. On estime que toutes ces dépenses et leur nourriture ne leur coûtent pas plus de 100 fr., et qu'ils peuvent mettre de côté, comme bénéfice net, de 125 à 150 francs.

Les compagnies doivent se charger de tous les approvisionnements, et la charge est d'autant plus lourde que les communications avec les villes du sud sont interrompues pendant une grande partie de l'année : il faut que chaque entreprise tienne un magasin bien assorti de tout ce qui est nécessaire à la vie; presque toutes ont commencé des défrichements et cultivent les pommes de terre, les betteraves, le seigle et quelques légumes, qui sont d'un grand secours pour leurs ouvriers et leurs employés.

Les compagnies font construire des maisons en bois pour loger leurs ouvriers; le plus souvent elles sont très-petites et coûtent seulement un millier de francs; elles sont louées à des entrepreneurs au prix de 60 fr. par an. Ceux-ci se chargent de loger et nourrir dix ouvriers par maison, moyennant 50 francs par mois. La nourriture se compose de pommes de terre, de lard salé, de pain et de thé. Les lits sont fournis par la

compagnie et loués 30 francs par an aux entrepreneurs, qui doivent les entretenir en bon état. Chaque lit comprend un matelas, un traversin et deux couvertures; les draps sont inconnus.

Ces détails prouvent que les ouvriers s'astreignent volontairement à une très-rude existence, dans le but de réaliser de gros bénéfices.

Dans ces conditions, les galeries reviennent de 45 à 120 francs par mètre d'avancement, suivant les difficultés du terrain et la dureté des roches; le prix de 45 francs par mètre se rapporte à des galeries poussées dans les filons et dans les circonstances les plus favorables d'une veine tendre jusqu'au milieu; on n'a payé 120 francs que pour des galeries percées dans la roche très-compacte et non fissurée.

Les puits (2^m,50 sur 1^m,60) foncés dans les filons coûtent de 150 à 250 francs par mètre; dans les roches dures, leur prix s'élève jusqu'à 400 francs. Les cheminées sont payées de 110 à 215 francs, et l'abatage en gradins de 30 à 60 francs par mètre d'avancement, sur 2 mètres en hauteur et sur une largeur de 1^m,50 à 2 mètres.

Usine à cuivre.

On n'a pas encore songé à construire, au lac Supérieure, une usine pour la fusion du cuivre en lingots, et tous les produits des mines et des ateliers de préparation mécanique sont envoyés à Détroit et même à Pittsburg. L'ouverture du canal Sainte-Marie permettra d'amener au lac Supérieur la houille de Pensylvanie au prix de 45 à 55 francs par tonne, et peut-être trouverait-on avantage, au point de vue commercial, à fondre le cuivre sur le lieu même de production. Cette question est du reste trop complexe pour que je m'arrête à sa discussion.

La fonderie de Détroit (et je pense aussi celle de

Pittsburg) fond à façon, c'est-à-dire reçoit les masses de cuivre et les produits préparés, et rend en lingots le cuivre contenu, en prélevant une somme assez élevée pour son travail. Elle est établie à une petite distance de la ville de Détroit, sur le bord de la rivière qui réunit les deux lacs Huron et Érié : sa position est très-favorable pour recevoir le charbon et les cuivres envoyés du lac Supérieur.

L'usine comprend :

Consistance de l'usine.

Deux réverbères pour la première fusion de cuivre;

Deux cubilots pour la fonte des crasses et des scories, avec une soufflerie, mue par une petite machine à vapeur;

Des magasins, bureaux, un petit laboratoire, etc.;

Un beau quai construit sur pilotis, auquel de grands navires peuvent aborder et faire leurs chargements et déchargements.

Les réverbères sont construits comme les fourneaux servant à l'affinage du cuivre dans la méthode galloise, et n'en diffèrent que par quelques détails : ils ont chacun leur cheminée; le milieu de la voûte est un chapeau mobile au moyen d'une grue, et qu'on enlève pour introduire les grandes masses de cuivre natif; une grue, construite entre les deux fours, sert à manœuvrer les énormes blocs. Chaque four a deux portes : l'une d'elles est à l'extrémité et sert au travail et à la coulée; l'autre est latérale et permet de charger rapidement, à la main ou à la pelle, les morceaux et les grenailles.

Les dimensions principales des fours sont les suivantes :

Grille, 1 mètre sur 1^m,30;

Sole, 3 mètres sur 4^m,50;

Cheminée, 0^m,60 de côté; hauteur, 20 mètres.

Les cubilots ont 4 mètres de hauteur et 1 mètre de diamètre intérieur : ils sont portés sur des colonnes en fonte, disposition qui rend très-faciles les réparations à la sole en sable; ils reçoivent le vent par trois tuyères disposées à la même hauteur (1).

Les opérations aux réverbères et aux cubilots sont conduites par un maître fondeur; pour les deux réverbères, il faut trois ouvriers pendant la nuit et douze pendant le jour; les cubilots emploient seulement cinq hommes.

Les ouvriers gagnent de 6 à 10 francs par poste.

Le combustible provient des mines de la Pensylvanie : il revient à 40 francs la tonne, par suite d'une augmentation considérable survenue en 1854; son prix ordinaire est compris entre 25 et 30 francs.

Opération.

On fond en même temps, dans les fours à réverbère, les grandes masses et les produits de la préparation mécanique; la charge ordinaire est de 4 1/2 à 5 tonnes; dès que la charge est introduite dans le four, on ferme toutes les portes et on chauffe jusqu'à fusion complète. Cette période n'exige aucun travail sur la sole et coïncide avec le poste de nuit, occupant un chauffeur par four et un aide pour amener le charbon.

Dès que toutes les matières sont en pleine fusion, on procède à l'enlèvement des scories à l'aide d'un rable en fer; elles sont tirées par la porte du fond, tombent sur le sol de l'usine et sont ensuite enlevées en grandes masses. Elles contiennent de l'oxyde et des grenailles de cuivre, et sont ultérieurement traitées au cubilot.

(1) Le directeur m'a prié de ne pas faire connaître en détail les opérations faites à son usine; je dois par suite borner ma description à l'exposé général de la méthode, et ne pas donner toutes les dimensions des fourneaux.

Quand le cuivre est bien débarrassé des scories, on l'amène au point convenable pour la coulée, en suivant à peu près la méthode employée dans l'affinage ordinaire du cuivre; on coule en puisant à la cuiller et versant dans des lingotières en fonte : ces lingotières sont disposées au-dessus de bâches contenant de l'eau et sont mobiles autour de charnières horizontales, de manière à ce qu'en faisant pivoter les lingotières on puisse faire tomber le cuivre dans l'eau.

L'opération entière dure de vingt à vingt-deux heures, et on compte seulement sur six charges par semaine et par four, c'est-à-dire sur une soixantaine de tonnes de masses et produits, desquelles on retire de 40 à 45 tonnes de cuivre en lingots.

La charge d'un four à réverbère est quelquefois plus grande que cinq tonnes quand on traite les lingots de la fonte au cubilot; on peut en passer jusqu'à huit tonnes par opération.

La dépense en combustible ne dépasse pas six tonnes pour une opération, on l'évalue même à une tonne par chaque tonne de matière fondue.

Pour fondre les scories au cubilot, on commence par chauffer le fourneau avec du charbon de bois; on charge ensuite les scories mélangées avec un peu de chaux et l'anthracite comme combustible. Les matières fondues sont coulées dans des bassins en brasque; le cuivre se rassemble en lingots irréguliers à la partie inférieure; les scories se solidifient au-dessus du métal : elles sont considérées comme très-pauvres et jetées.

On fond dans une journée, et dans un seul cubilot, de dix à onze tonnes de scories, en brûlant environ trois tonnes d'anthracite. On ne fait pas de campagne, et chaque fourneau mis en feu le matin est mis hors feu le soir.

Le cuivre des scories est assez impur et chargé de fer; il doit être affiné au réverbère, et donne toujours du métal dont la qualité est moins bonne que celle du cuivre de première fusion.

La navigation étant interrompue pendant l'hiver, l'usine ne peut rester en activité que pendant six à sept mois de l'année; les premiers arrivages ont lieu vers la fin de mai et les derniers en novembre, et tous les approvisionnements sont fondus à la fin de décembre.

Les conditions de la fonte en lingots sont assez favorables à l'usine; elle prélève par tonne de cuivre fondu en lingots :

80 francs pour les gros morceaux et les produits les plus riches du bocardage;

120 à 150 francs pour les deux qualités inférieures de produits, stamp n° 1 et stamp n° 2;

Et de plus 50 francs par tonne de scorie fondue au cubilot.

Ces nombres donnent environ 110 à 115 francs par tonne de cuivre rendu en lingots.

§ III. — *Des mines de la pointe de Keweenaw.*

Je suivrai dans la description des mines de ce district l'ordre qui me paraît indiqué par la séparation en deux zones métallifères, par la chaîne de greenstone.

Dans la zone métallifère du nord, en allant de l'est à l'ouest, on rencontre successivement des recherches peu développées : auprès du fort Wilkins et du phare de Copper-Harbor; dans les concessions voisines des deux ports de Copper-H. et Agate-H.; auprès de Eagle-H. et de Eagle-river. La seule concession dans laquelle les travaux ont été poussés avec persévérance est celle de Copperfalls, mine dont les produits ont été peu abondants, mais qui paraît devoir occuper bientôt un des premiers rangs sur la liste des mines productives.

Dans la zone métallifère du sud, on a fait des explorations très-nombreuses au pied de la chaîne de trapp à texture cristalline; à l'extrémité orientale les travaux n'ont pas encore fait connaître de filon très-riche, mais il faut remarquer que la plupart d'entre elles n'ont été poussées qu'à une faible profondeur, et que plusieurs ont été abandonnées par suite du manque de capitaux.

Un certain nombre de mines sont en pleine exploitation, et les résultats obtenus sont assez concluants pour qu'on puisse en tirer des indications très-utiles sur la manière la plus convenable de commencer de nouvelles entreprises.

Vers l'ouest, les travaux de recherche n'ont en général donné que des résultats défavorables, et les gisements voisins du lac Portage ne sont explorés que depuis peu de temps : on n'a signalé aucune mine véritablement riche en masses de cuivre au delà de la mine de Cliff.

Je choisirai comme exemples :

Dans celle du nord, la mine de Copperfalls;

Dans celle du sud, les mines de North-West, North-Western, Cliff et South-Cliff.

Je ne donnerai pour toutes ces mines que les renseignements nécessaires pour faire connaître leur situation.

Région du Nord. Copperfalls.

La concession de Copperfalls est placée à une faible distance (5 à 6 kilomètres) du petit port de Eagle-Harbor : elle s'étend depuis les bords du lac jusqu'au greenstone, et comprend toute la partie des filons qui traversent la zone du nord, les alternances, la grande bande de conglomérat et même la petite zone de trapp amygdaloïde.

Les travaux ont été commencés en 1845; mais poussés au hasard ils n'ont d'abord donné que des résultats peu favorables : en 1850 seulement on a dirigé les explorations sur les parties des filons contenues dans la grande zone de trapp, et reconnu la possibilité de faire dans l'avenir des bénéfices notables.

On connaît maintenant six filons; deux d'entre eux sont mis en exploitation sur une large échelle, par des puits et des galeries d'écoulement. Ces travaux ont fait découvrir un banc de trapp amygdaloïde, imprégné de cuivre natif, dont l'importance paraît être assez grande.

Les deux filons sont nommés, copperfalls et hill-veins; et le banc d'amygdaloïde est désigné sous le nom assez impropre de ashbed, par suite de la comparaison de sa texture avec celle de cendres volcaniques agglutinées.

Copperfalls-vein.—Le filon est dirigé N. 22 à 25° O., à S. 22 à 25° E., et traverse presque vertical tous les bancs de trapp, de conglomérats et de grès; on peut le suivre à ses affleurements depuis le bord du lac jusque bien au delà du greenstone, en dehors de la concession.

Sa puissance varie de $0^{m}.30$ à 1 mètre, et dépasse 2 mètres dans les renflements; il est bien encaissé et limité par des sallbandes dans le trapp compact; il présente plusieurs veines détachées dans l'amygdaloïde.

Son exploitation est commencée par sept puits verticaux et par quatre galeries d'écoulement, dont l'achèvement exigera plusieurs années. La galerie inférieure est à près de 100 mètres au-dessous des points les plus élevés de la surface, et sa longueur projetée est de plus de 900 mètres.

La disposition des gangues est à peu près la même que dans tous les autres filons explorés, calcaire dans le conglomérat, et quarzeuse du côté du greenstone.

Près de la surface, le cuivre se présente principalement en petites masses et en grains disséminés dans les gangues. Les masses paraissent devenir plus importantes à mesure que les travaux atteignent une plus grande profondeur, et l'aspect du filon dans les niveaux nos 2 et 3 est déjà favorable.

L'argent natif, en petites masses dans le calcaire spathique, ou mélangé avec le cuivre, s'est montré dans les bancs de conglomérat, sur la limite de la zone de trapp; mais jusqu'à présent on ne peut compter sur ce métal pour donner des bénéfices assurés.

En examinant le plan des travaux on saisit immédiatement le mode d'exploitation par galeries, adopté par le directeur, M. Hill. Aucune machine d'épuisement n'est installée sur les puits, le dépilage est à peine commencé, et tout est préparé pour l'avenir. Quand les galeries seront assez avancées, le filon sera rapidement découpé en massifs tout prêts pour l'abatage, et la mine pourra fournir à peu de frais, et en quantité considérable, du cuivre en masses et des matières à bocarder.

Hill-vein. — Le second filon est à peu près parallèle au premier, mais paraît contenir des masses de cuivre plus grandes. Sa mise en exploitation est commencée par dix puits verticaux et par six galeries d'écoulement, espacées d'environ 20 mètres en hauteur. La plus profonde est à 15 mètres seulement au-dessus du niveau du lac, et doit traverser les alternances de trapp, de conglomérat et de grès, et ensuite toute la zone métallifère du nord : sa longueur totale sera de plus de 2.600 mètres; elle permettra d'exploiter le

filon sans machine d'épuisement à la profondeur de 150 à 200 mètres au-dessous de la surface.

Les travaux commencés dans les puits et les galeries ont fait connaître les caractères principaux du filon sur presque toute l'étendue préparée pour l'exploitation, mais à une faible profondeur en chaque point. Sa puissance est extrêmement variable et présente une série de renflements et d'étranglements, qui paraissent correspondre assez bien à la dureté moins ou plus grande de la roche encaissante. La gangue est principalement calcaire vers le nord, et quarzeuse dans les bancs compactes, surtout vers le sud.

La matière argileuse rouge et la structure bréchiforme sont fréquentes dans le trapp relativement tendre et dans l'amygdaloïde.

Le cuivre est presque partout disséminé en petits grains, et la gangue est assez riche pour qu'on ait avantage à la bocarder.

Les masses de cuivre sont assez fréquentes dans les bancs amygdaloïdes, et leur importance paraît augmenter dans la profondeur : on a déjà reconnu plusieurs masses de 8 à 10 tonnes, et une dont le poids n'est pas estimé à moins de 30 tonnes.

Dans ce filon on peut facilement distinguer la disposition du cuivre en zones inclinées vers le nord, et qui suivent l'inclinaison des bancs de trapp. Aux bancs compacts de la roche encaissante répondent dans le filon des zones relativement assez pauvres, dans lesquelles on trouve seulement des petites masses de cuivre, et dans lesquelles les grains de métal disséminés dans la gangue sont plus rares. Les colonnes riches en cuivre disséminé et en grandes masses sont particulières à certains bancs de trapp, et principalement à l'amygdaloïde.

L'influence du terrain est maintenant bien évidente, et l'étude comparative de la nature du trapp et de la richesse en cuivre du filon dans ses différentes parties, sera plus tard, quand l'exploitation sera plus avancée, d'une grande importance pour toutes les mines placées dans les mêmes conditions. Les résultats déjà obtenus ont un grand intérêt scientifique et mettent en lumière l'action exercée par le terrain pendant le remplissage des filons.

Je n'ai pas à discuter le mode d'exploitation adopté dans les deux filons, bien différent de celui que suivent toutes les autres mines du lac Supérieur : les filons sont riches et supporteraient certainement les frais d'établissement de machines d'épuisement, à l'aide desquelles on arriverait beaucoup plus vite à l'exploitation en profondeur.

Couche de trapp imprégnée de cuivre-ash-bed. — Les travaux préparatoires exécutés dans les deux filons ont recoupé une couche de trapp assez tendre, criblée de petites cavités amygdaloïdes et de fissures, remplies par toutes les matières que contiennent les filons, quartz, calcaire, feldspath, chlorite, et cuivre natif.

Le métal se présente en petits grains, en feuillets très-minces, et même en masses pesant plusieurs kilogrammes ; la roche est tendre, le bocardage est facile, et la préparation mécanique permet de retirer à peu de frais la plus grande partie du cuivre contenu.

Ce banc très-singulier a une puissance variable, qui atteint jusqu'à 30 mètres près du filou Copperfalls. Il est séparé du trapp granulaire, qui lui est superposé, par un filon composé de matière argileuse rouge, indiquant un glissement des bancs l'un sur l'autre, et d'une zone de gangue ordinaire, mélangée de quartz, de calcaire et de feldspath, imprégnée de cuivre. C'est

un vrai filon de contact par lequel ont dû arriver les matières qui ont rempli la couche poreuse inférieure.

Vers le mur de cet *ash-bed* on a reconnu un lit de grès sablonneux également imprégné de cuivre, mais ne formant pas une séparation bien nette du trapp inférieur, qui est lui-même assez poreux.

La teneur moyenne en cuivre de ce gisement ne peut être encore bien appréciée ; elle me paraît être de 3 à 4 pour 100 ; mais tous les mineurs savent combien il faut se défier d'une appréciation de richesse d'une roche en place.

Il est toujours certain que son exploitation peut être avantageuse et qu'elle donnera à la compagnie des quantités considérables de cuivre.

Dans les deux filons, Copperfalls et Hill, on a déjà préparé pour l'abatage un très-grand nombre de massifs, et on admet que plus du tiers de la longueur des filons devra être enlevée, c'est-à-dire que la somme des longueurs, estimées suivant la direction, des parties riches, et celle des parties stériles, sont à peu près dans le rapport de 1 à 2. L'abatage en gradins n'a été fait que dans une proportion très-restreinte jusqu'à la fin de 1854. Le produit moyen pour les deux filons a été de 420 kilogrammes de cuivre pur pour chaque toise quarrée, soit environ 100 kilogrammes de métal par mètre quarré de surface latérale.

En considérant le rapport, précédemment indiqué, des parties riches et stériles, on aurait pour toute la largeur explorée des deux filons, 35 à 40 kilogrammes de cuivre par mètre quarré de surface latérale, richesse minérale qui permet des bénéfices quand l'exploitation sera en pleine activité.

On ne doit pas considérer ce nombre comme rigoureusement établi, puisqu'on n'a exploité jusqu'ici qu'une très-petite étendue des filons : on doit espérer que les masses de cuivre devenant plus nombreuses dans la profondeur à Hill-vein, le rendement de ce filon sera plus important.

Il est impossible de savoir dès maintenant quels seront les frais de l'exploitation ; on peut seulement espérer que les dépenses relatives aux travaux de mine ne dépasseront pas 25 fr. par mètre quarré abattu.

A la surface, la compagnie de Copperfalls a fait construire des maisons d'habitation ; des maisons d'ouvriers ; un magasin général ; un bel atelier de préparation mécanique, dont le moteur est une machine à vapeur, capable de faire fonctionner 48 pilons de bocard (1).

Elle a établi de bonnes routes traversant toute la concession, et prolongées jusqu'à Eagle-Harbor ; au port elle possède un magasin pour la réception et l'embarquement du cuivre.

Situation économique. — Les travaux, commencés en 1846, abandonnés ensuite, ont coûté des sommes considérables dont la société n'a recueilli qu'un très-minime résultat ; de 1846 à 1850, les travaux de mines et les appropriations de surface ont absorbé plus de 500.000 francs : la valeur du cuivre extrait n'a pas dépassé 75.000 francs. Depuis que les exploitations sont conduites avec une connaissance plus parfaite de la géologie de la contrée et de l'allure des filons, on a dépensé 400.000 francs (décembre 1850 au 1er mars 1854) et vendu pour près de 110,000 francs de cuivre. Aucun dividende n'a été payé aux actionnaires, et par

(1) 16 pilons étaient en activité à la fin de 1854 ; on espère arriver bientôt à faire fonctionner 16 autres pilons. On doit même construire prochainement deux autres ateliers.

suite on a dépensé ou conservé pour les dépenses futures près de 1.100.000 francs : on espère que la production toujours croissante du cuivre permettra l'achèvement de tous les travaux commencés sans qu'on ait besoin de faire un nouvel appel de fonds.

Je dois faire remarquer que le capital engagé est réellement très-faible, bien que les premières dépenses aient été faites presque en pure perte, et que par conséquent la compagnie sera dans une position encore favorable quand les deux filons et la couche imprégnée de cuivre seront en pleine exploitation.

Production pendant les années 1852 *et* 1853 :

Cuivre pur, en 1852. . . . . 6.300 kilogrammes.
Id. en 1853. . . . . 45.800 »

Pendant l'année 1854 on a dû expédier des produits contenant près de 110 tonnes de cuivre pur, et on compte atteindre 400 tonnes en 1855.

On n'a pas tenu compte de la valeur de l'argent natif, qui cependant s'est présenté en certaine abondance dans plusieurs parties des filons.

Région du Sud. North-West.

La concession de North-West est située auprès du greenstone, tout près de la baie d'Agate : ce port étant encore inhabité, la compagnie doit s'approvisionner et envoyer ses produits à Eagle-Harbor, éloigné d'environ 9 kilomètres. Une bonne route a été construite, et les transports ne sont pas très-onéreux.

Les travaux ont été commencés en 1847 par l'ancienne société Northwest-Mining Company, mais poussés très-mollement ; ils ont été repris activement par la compagnie actuelle, qui a, vers 1849, acheté les droits et les terrains de la première.

Elle a construit à la surface des maisons, magasins, etc., établi la route carrossable d'Eagle-Harbor et terminé la préparation mécanique, dont le bocard à

douze pilons est mû par une petite machine à vapeur.

Elle a fait l'exploration de trois veines, et poussé l'exploitation dans deux d'entre elles.

Les trois veines sont nommées :

Stoutenburgh, dirigée N. 16° 1/2 E. ;

Hogan et Killy, dirigées N. 19° O.

Elles doivent se réunir en un seul filon à une certaine distance de l'exploitation.

Stoutenburgh. — Les travaux sont faits par quatre puits à sept niveaux différents, espacés de 20 mètres ; le niveau supérieur sert de galerie d'écoulement ; une machine à vapeur, installée sur l'un des puits, permettra d'épuiser les eaux à une profondeur bien plus grande que celle à laquelle on est maintenant parvenu.

Les cinq niveaux supérieurs ont été poussés en direction, sur une longueur de 250 à 300 mètres, depuis le lit de conglomérat, qui sépare le greenstone du trapp amygdaloïde, jusqu'aux bancs compactes du sud. Aux deux niveaux inférieurs l'exploitation est seulement commencée.

Le filon est maintenant assez bien connu, en profondeur jusqu'à 150 mètres au-dessous de la surface, en direction sur environ 300 mètres ; il a une puissance variable entre $0^m,15$ et $0^m,50$, et se trouve presque partout nettement séparé de la roche encaissante. La gangue est principalement composée de matière argileuse rouge et de chlorite ; le quartz, le calcaire spathique et le feldspath ne sont en évidence que par places. Le cuivre se présente disséminé en petits grains et en petites masses, assez nombreuses vers la surface.

Les grandes masses sont rares, et la plus forte n'a pas pesé plus de 11 tonnes. Les bancs de trapp, au contact immédiat du conglomérat, sont à texture grenue ; un peu plus vers le sud on connaît trois bandes

irrégulières d'amygdaloïde, auxquelles succède le trapp compacte.

Le filon est notablement plus riche dans l'amygdaloïde ; il est pauvre dans le trapp grenu, et paraît complétement stérile dans le trapp compacte du sud. On retrouve dans cette mine la même influence de la nature du trapp sur la richesse du filon, que j'ai signalée pour Copperfalls, et qui est plus ou moins évidente pour toutes les mines exploitées à la pointe de Keweenaw.

Pour le filon de Stoutenburgh on ne peut pas indiquer une notable amélioration dans la profondeur; aux niveaux inférieurs il est à peu près aussi pauvre qu'aux affleurements.

Dans les bancs amygdaloïdes le filon n'est pas toujours bien encaissé, et la roche contient des grains de cuivre natif jusqu'à une certaine distance de la veine, ce qui oblige à abattre et amener au jour une notable proportion de la roche encaissante, souvent très-pauvre, mais quelquefois assez riche pour mériter la préparation mécanique.

Hogan. — Les travaux sont moins avancés dans la veine Hogan que dans la précédente : elle est maintenant explorée sur une centaine de mètres en direction et sur 90 mètres environ en profondeur. Elle présente les mêmes caractères; sa gangue est notablement plus quartzeuse ; les masses de cuivre sont plus rares et toujours de faibles dimensions.

La troisième veine n'a pas encore été mise en exploitation.

Les roches soumises à la préparation mécanique, provenant des deux veines exploitées, sont pauvres en cuivre et ne rendent pas plus de 12 à 14 kilogrammes de métal par tonne. Les frais d'exploitation et de préparation s'élèvent à 23 ou 24 francs par tonne, ce qui laisse une marge bien faible pour les transports et les frais de fusion. Les masses de cuivre pourraient seules donner à la mine une plus grande valeur; malheureusement elles ne sont pas nombreuses et leurs dimensions sont généralement très-faibles, La profondeur à laquelle les travaux sont parvenus dans la veine Stoutenburgh, sans notable enrichissement, ne donne pas l'espérance d'un avenir plus favorable; cependant la compagnie continue ses travaux avec une grande persévérence.

Jusqu'au 1er janvier 1853, la compagnie de Northwest a dépensé 1,528,923 francs, en acquisitions, routes, constructions, travaux de mines, machines, etc., et elle a produit du cuivre pour la somme de 783,822 francs.

Ses dépenses annuelles ne doivent pas atteindre 350,000 francs et restent inférieures à la valeur du cuivre produit. Le rendement en cuivre du mètre carré de surface abattue dans les deux veines est de 27 à 28 kilogrammes.

Produits. — Les veines de Northwest ont livré :

	Masses et produits préparés.	Tenant cuivre
En 1849	22.080 kilog. . . .	17.100 kilog.
En 1850	135.300 —	97.500 —
En 1851	217.440 —	146.500 —
En 1852	190.140 —	134.450 —
En 1853	121.000 —	114.450 —
	715.970 kilog. . . .	510.000 kilog.

Je n'ai pas pu me procurer la production de 1854, mais je ne pense pas qu'elle ait dépassé beaucoup celle de 1853.

(1) Il faut remarquer qu'on n'a fait l'abatage que dans les parties les moins pauvres.

Northwestern.

Northwestern. — La concession de Northwestern est placée au sud de celle de Copperfalls, à 8 kilomètres environ de Eagle-Harbor. Les travaux ont été commencés en 1845 par une première compagnie, qui s'est réorganisée en 1848 sous le nom de *Northwestern mining company of Detroit.* On n'a exploré qu'un seul filon, dont la direction est celle de Copperfalls-vein; on ne peut encore affirmer que ce soit le même filon au nord et au sud du greenstone; il peut exister un rejet entre les deux exploitations.

Les travaux sont poursuivis dans la zone de trapp, en partie compacte, en partie amygdaloïde, auprès et au sud du greenstone; le filon, dirigé N. 22° O., presque vertical, est divisé en plusieurs veines du côté de la roche cristalline. Les veines se réunissent promptement en un seul filon qui paraît s'étendre bien loin vers le sud. Sa puissance est faible à la surface et varie de $0^m,30$ à $0^m,70$; elle est bien plus grande dans la profondeur, et le niveau inférieur a déjà fait connaître des renflements dans lesquels le filon a plus de 3 mètres d'épaisseur. La gangue est très-quartzeuse près du greenstone; plus au sud, elle est composée de chlorite, de matière argileuse rouge, de quartz, de feldspath; elle offre souvent la texture bréchiforme, due à la présence de nombreux fragments de la roche encaissante. Les sallbandes argileuses existent presque partout dans les bancs de trapp compacte, et les géodes, tapissées de beaux cristaux de quartz, d'analcime et de feldspath, sont très-fréquentes.

La partie supérieure du filon contient le cuivre disséminé en petits grains, et n'a donné que des matières à bocarder assez pauvres, rendant 2 1/2 p. 100 à la préparation mécanique. Dans la profondeur, le filon devient de plus en plus riche, et les masses de cuivre

de 8 à 12 tonnes sont assez nombreuses dans les renflements. On a commencé dernièrement à dégager et couper une masse dont le poids est évalué à plus de 50 tonnes. Le filon est donc bien différent de ceux de Northwest, et devient plus beau à mesure qu'on approfondit les travaux.

On a fait jusqu'à présent quatre puits, profonds de 54, 62, 66 et 70 mètres, et poussé trois niveaux, dont la longueur en direction est comprise entre 400 et 500 mètres. Le niveau supérieur sert de galerie d'écoulement; les eaux sont épuisées à l'aide d'une machine à vapeur.

A la surface, la compagnie a fait d'assez belles installations et construit un atelier de préparation mécanique, dont le bocard est mis en mouvement par une machine à vapeur.

Les travaux ont été poussés peu activement jusqu'au moment où les masses de cuivre ont été constatées, et maintenant encore ils n'occupent qu'une quarantaine de mineurs, et à peu près le même nombre d'ouvriers à la surface.

La production en cuivre a été presque nulle pendant les années qui ont précédé 1854 : ainsi, en 1853, la mine a expédié 30,500 kilogrammes de petites masses et produits préparés, contenant 22 tonnes de cuivre pur.

En 1854, la production s'est élevée à 150 tonnes, et si le filon continue à s'enrichir en profondeur, comme cela est arrivé au niveau de 60 mètres, on espère produire 300 tonnes en 1855, et augmenter progressivement les expéditions.

Je ne connais pas exactement les dépenses faites par la compagnie de Northwest; les actionnaires n'ont pas dû verser beaucoup plus de 600,000 francs.

Cliff-Mine. — La concession possédée par la compagnie *Pittsburg and Boston-Mining Company*, s'étend depuis les bords du lac, à l'ouest de Eagle-River, jusqu'au delà du greenstone. Elle embrasse, sur une largeur de 3 kilomètres environ, la totalité de la zone métallifère du nord, et 200 mètres de la zone du sud. La compagnie est la plus ancienne et la plus riche de toutes celles qui se sont formées pour exploiter les mines du lac Supérieur, et celle qui paye maintenant les plus beaux dividendes.

Elle a d'abord acheté à très-bas prix les permis de recherches obtenus du gouvernement, en 1843, par M. Raymond, et commencé l'exploration du filon du Phare à Copperharbor; bientôt après elle a concentré toutes ses forces sur la mine de Cliff. Depuis l'année 1845, elle exploite un seul filon dans la partie méridionale de sa concession, entre le greenstone et la limite de la concession voisine (North-American); cette limite très-importante n'est pas exactement déterminée, elle est à 200 mètres environ au sud de l'affleurement du conglomérat, qui est placé sous la roche cristalline. Dans la zone métallifère du nord, l'affleurement du même filon a été constaté, mais on n'a fait jusqu'à présent aucune exploration sérieuse de ce côté.

Dans cette partie de la contrée, les montagnes de greenstone présentent vers le sud des escarpements, élevés de plus de 30 mètres au-dessus de la vallée couverte d'alluvions, qui s'étend à une grande distance jusqu'à la chaîne porphyrique. Le trapp cristallin offre une légère courbure, et l'escarpement est fissuré verticalement dans une direction normale aux bancs de trapp. La vallée profonde d'Eagle-River indique une cassure au coude principal de tous les terrains, tandis que vers l'est, la courbure, moins prononcée, correspond à de nombreuses fentes, dont les principales sont remplies par des filons.

Des explorations ont été commencées sur plusieurs veines et bientôt abandonnées; le seul filon de Cliff-Mine a été reconnu véritablement riche. Il est dirigé N. 27° O., et pénètre dans le greenstone en plusieurs veines, dont la direction est normale aux bancs de trapp; elles se réunissent progressivement vers le sud au filon principal, dont le prolongement, démontré par les travaux faits par la compagnie North-American, est caché par les alluvions.

Il plonge vers l'est sous un angle de 75 à 85°; sa puissance est très-variable; elle atteint 2 mètres et même 3 mètres aux renflements et à la réunion des veines, et descend parfois à $0^{m},25$.

La gangue est composée de quartz, chlorite, calcaire et de matière rouge, présentant toutes les variétés de disposition que j'ai indiquées dans le chapitre précédent. Les veinules de laumonite et d'épidote sont assez fréquentes, et les géodes, qui se trouvent assez souvent dans les parties puissantes du filon, sont remplies par de l'argile et tapissées de très-beaux cristaux de quartz, d'analcime, de baryte sulfatée, de prehnite et même de cuivre natif.

La gangue contient une forte proportion de cuivre en petits grains, et rend jusqu'à 5 p. 100 de métal à la préparation mécanique. Les masses de cuivre se sont présentées dès la surface très-nombreuses et de grandes dimensions; elles se continuent en profondeur et sont principalement puissantes dans les parties du filon qui sont encaissées dans le trapp amygdaloïde.

J'ai vu dans la mine des masses de plus de 2 mètres d'épaisseur.

L'argent natif est assez abondant vers la surface,

mais presque toujours assez intimement mélangé avec le cuivre; on n'a pas encore constaté dans quelles parties du filon l'argent est plus ordinairement en forte proportion; il est dans les veines de calcaire spathique, mélangé de feldspath et de quartz, qui semblent répondre à la séparation des bancs de trapp de texture différente, mais cette loi est bien loin d'être certaine.

Les premiers travaux ont été faits dans le greenstone dans une veine très-mince, contenant très-peu de cuivre, et portés bientôt sous les alluvions au pied de l'escarpement. On travaille maintenant par trois puits très-rapprochés à sept niveaux différents, espacés de 20 mètres; le huitième niveau sera bientôt commencé, à la profondeur de 170 mètres au-dessous de l'affleurement du conglomérat. Le niveau de 30 mètres sert de galerie d'écoulement; une machine à vapeur spéciale pour l'épuisement des eaux est installée sur le puits n° 3, dont l'orifice est sur le plateau de greenstone (Pl. VIII, *fig.* 5).

Entre le puits n° 1 et la limite de la concession vers le sud, les niveaux n'ont guère que 200 mètres; vers le nord, leur étendue devient plus grande à mesure que les travaux sont plus profonds, par suite de l'inclinaison des bancs (28° au nord). Au sixième niveau, on a déjà plus de 300 mètres d'allongement, longueur considérable si on la compare à la richesse extraordinaire du filon. Plusieurs tentatives ont été faites dans le greenstone, mais sans aucun succès; les veines deviennent à peu près stériles à quelques mètres au sud de la roche cristalline.

L'exploitation suit de très-près les travaux préparatoires, de telle sorte que la production varie avec la richesse des parties exploitées et avec le développement croissant des niveaux successifs. Les résultats obtenus pendant les dernières années indiquent à peu près la

même richesse du filon à différentes profondeurs. Près de la surface, les masses de cuivre ont été plus nombreuses; aux cinquième et sixième niveaux, les masses sont plus fortes et la proportion de matière à bocarder semble augmenter assez rapidement.

On estime que dans toute la partie exploitée, chaque mètre carré de surface latérale a rendu plus de 100 kilogrammes de cuivre pur.

La préparation mécanique est établie auprès du puits n° 1, qui sert à l'extraction et à l'épuisement (1). La même machine à vapeur met en mouvement les pompes et les trente pilons du bocard.

Tous les établissements de la compagnie sont dans la vallée d'Eagle-River, entièrement défrichée, et forment, avec ceux de North-American, un village déjà important.

La mine emploie 130 mineurs, et les travaux de surface occupent une centaine d'ouvriers.

Le tableau suivant (2) fait connaître les opérations de la société depuis 1844.

Années.	DÉPENSES.	PRODUITS expédiés.	Teneur p. 0/0	CUIVRE PUR.	RECETTES ou valeur du cuivre.	DIVIDENDES par action.	DIVIDENDES Total.
	fr.	kil.		kil.	fr.	fr.	fr.
1844	16.253,80	»	»	»	»	»	»
1845	135.544,30	16.585	60.00	9.951.00	15 734,10	»	»
1846	350.478,40	54.375	38.10	20.716,87	47.016,00	»	»
1847	473.868,70	364.900	56.30	205.438,70	376.178,00	»	»
1848	557.976,00	827.600	60.20	498.215,20	891.957.00	»	»
1849	566.934,60	1.142.500	56.10	640.942,5	822.703.00	53.00	318.000
1850	629.555,20	760.680	46.90	359.629,2	948.333.00	74.20	445.200
1851	676.404,60	764.210	55.30	422.608.00	927.139 60	53,00	318.000
1852	598.527,95	830.150	49.90	414.244.88	858.160,00	53.00	318.000
1853	963.905,70	1.031.450	45.00	464.152.55	1.110.000	79.50	477.000
1854 (3)	1.000.000	1.680.000	50.00	840.000.00	2.000.000	95.40	572.400

(1) Le puits n° 2 est consacré à l'enlèvement des masses de cuivre, à l'aide d'un cabestan à quatre chevaux.

(2) Ce tableau et le précédent sont tirés de l'excellent ouvrage de M. Whitney sur la richesse minérale des États-Unis.

(3) Les nombres pour 1854 sont seulement approximatifs.

Les actionnaires n'ont encore versé que 20 dollars, soit 106 francs pour chacune des 6,000 actions, et les directeurs espèrent arriver bientôt à donner un dividende annuel égal à la somme payée par chaque action.

Argent produit. — L'argent s'est présenté dans presque tous les travaux tellement mélangé avec le cuivre, qu'il a été difficile de l'utiliser ; on prétend même que les ouvriers ont dérobé une grande partie des morceaux de métal à peu près pur. Quoi qu'il en soit, la mine n'a pas livré plus de 110 kilogrammes d'argent en six ans, de 1846 à 1851, et on ne peut pas espérer un meilleur résultat pour l'avenir.

Observations. — La compagnie *Pittsbury and Boston-Mining Company* est dans une situation plus favorable que toutes celles des sociétés possédant des mines à la Pointe de Keweenaw ; elle le doit à un ensemble de circonstances tout à fait spéciales, et qu'on ne peut pas espérer réunir dans une autre entreprise.

Elle a commencé avec un faible capital, en achetant les terrains pour une somme extrêmement faible. Elle n'a presque rien dépensé en travaux stériles, et a trouvé presque sans recherches un filon extraordinairement riche dès la surface. Elle a concentré son exploitation dans la partie du filon reconnue métallifère, et n'a fait et ne fait encore maintenant aucun travail d'avenir.

Cette compagnie a, par conséquent, été dégagée des trois plus lourdes charges qui empêchent ordinairement la réussite des entreprises de mines : achat de la concession à un prix exagéré, capital social trop élevé, travaux stériles dans les filons. On ne doit pas être étonné du haut prix qu'ont atteint les actions de Cliff-Mine, mais on peut craindre qu'il ne se soutienne pas toujours, puisque l'absence de travaux préparatoires

fait reposer tout l'avenir sur la continuité de richesse du filon (1).

North-American South-Cliff.

La concession de la société *North-American-Mining Company* est située au sud du greenstone, et s'étend à l'ouest et au sud de la précédente.

La compagnie a commencé, en 1846, l'exploration d'un filon, dirigé N. 58° O., contenant des masses de cuivre réparties très-irrégulièrement ; elle a continué les travaux sur une grande longueur en direction et jusqu'à la profondeur de 125 mètres. En 1853, elle avait dépensé plus d'un million de francs en installations de surface et en travaux souterrains, et n'avait retiré que 220 tonnes de cuivre et un peu d'argent natif.

Dans ces conditions défavorables, le directeur a pensé à rechercher sous les alluvions le filon de Cliff, reconnu si riche depuis plusieurs années. Dès que les premiers travaux ont eu traversé les 18 mètres d'alluvions qui couvrent la vallée, on a trouvé le filon contenant des masses de cuivre et la gangue imprégnée de métal. On l'a exploré par deux puits inclinés, auxquels on substituera bientôt deux grands puits verticaux, par une galerie d'écoulement, par trois niveaux et par des cheminées.

Les deux niveaux supérieurs ont environ 200 mètres en direction, et sur toute cette longueur, le filon a bien la même allure et la même richesse que dans la concession de Cliff-Mine. Vers le nord, il est divisé en deux veines qui se réunissent vers le milieu de la partie explorée, en présentant un renflement extrêmement riche.

Les masses de cuivre sont nombreuses et de grandes dimensions. J'ai vu, en place dans la mine, un gros bloc déjà dégagé sur environ 30 mètres en hauteur et

(1) Les lettres que j'ai reçues en 1855 annoncent encore un accroissement de la richesse du filon de Cliff.

7 à 9 mètres en direction ; son épaisseur, très-variable, atteint 2 mètres en plusieurs points.

Le directeur espère arriver bientôt à la production de 50 tonnes de cuivre par mois, et par suite payer de bons dividendes, malgré les dépenses énormes faites sans résultat dans le filon North-American.

L'argent natif s'est présenté, comme à Cliff-Mine, dans le calcaire spathique, et presque toujours mélangé avec le cuivre. Jusqu'à présent on n'a obtenu que des échantillons d'argent natif pur.

La mine occupe 85 mineurs, et les travaux à la surface emploient une centaine d'ouvriers.

§ IV. — *Des mines de l'Ontonagon.*

J'ai déjà fait connaître, dans les premiers chapitres, les conditions générales dans lesquelles sont placées les mines de la contrée d'Ontonagon, leur éloignement du rivage et l'absence d'un véritable port. Un nombre considérable de sociétés se sont formées pour explorer les terrains métallifères, c'est-à-dire la bande de trapp qui présente un arc de cercle irrégulier, dont la ville d'Ontonagon est le centre. La plupart d'entre elles n'ont encore fait que des travaux insignifiants, mais plusieurs ont exploité et dépensé des sommes considérables avec des résultats divers.

La mine de Minnesota a seule jusqu'ici payé de gros dividendes et trouvé de grandes masses de cuivre, et de l'argent natif en forte proportion. D'autres explorations faites dans le même gisement donneront probablement bientôt des bénéfices ; mais les recherches entreprises dans la chaîne du sud ne se présentent pas sous un aspect favorable. Il en est de même des travaux commencés dans le voisinage des Porcupine-Mountains, et de ceux qui ont été faits près du Portage.

Je citerai comme exemples les mines de Minnesota, Forest, Toltec, Adventure et Ridge. Les premières utilisent la rivière pour les transports ; les autres ont dû faire établir une route en planches, longue de plus de 25 kilomètres et coûtant une dizaine de mille francs par kilomètre.

Minnesota.

La concession de Minnesota est placée à l'est de la rivière d'Ontonagon, et vers le milieu de la zone de trapp ; ses communications avec la ville sont assez difficiles ; la compagnie a établi une route longue de 4 kilomètres de ses établissements à la rivière, sur laquelle les transports sont rendus pénibles et dangereux par cinq rapides.

La distance de la mine à la ville est d'environ 30 kilomètres, et les frais de transport dépassent 5 francs par tonne pour la descente ; ils sont plus élevés encore pour la remonte.

Le filon parallèle à la formation de trapp (1) est indiqué à la surface par des anciennes excavations très-développées, dans lesquelles on a pénétré en 1848 ; les premiers travaux ont constaté la richesse de la veine du nord, exploitée maintenant avec une grande activité. La veine du sud, riche en argent, n'a été reconnue que plus tard, parce que ses affleurements sont en grande partie couverts par les alluvions. Le même système paraît s'étendre jusque vers la mine de Toltec, et peut-être encore bien plus loin vers l'est ; on le connaît aussi vers l'ouest ; mais jusqu'à présent la mine de Minnesota est presque la seule exploitée sur une grande échelle et en même temps productive ; dans son voisinage immédiat, la mine de *Rockland* et celle de *Na-*

(1) J'ai indiqué dans le chapitre précédent sa disposition générale et les caractères des deux veines.

tional, explorées sans capitaux suffisants, pourront devenir plus tard aussi productives.

A Minnesota, la veine du Nord est mise en exploitation par quatre puits foncés dans le filon, inclinés à 65° et munis : l'un d'une machine à vapeur d'épuisement, un second d'un cabestan à deux chevaux pour l'enlèvement des grandes masses de cuivre, les deux autres de manéges servant à l'extraction. Leur profondeur varie de 110 à 120 mètres, et leurs orifices sont sur le bord méridional d'un long plateau elliptique, élevé de 30 mètres environ au-dessus de la vallée.

Une petite galerie d'écoulement donne une exhaure d'une trentaine de mètres; plus bas, les travaux d'exploration et d'exploitation ont été faits à quatre niveaux différents, espacés de 20 mètres sur une longueur de 400 mètres en direction.

On a obtenu de la gangue imprégnée de cuivre, mais en proportion notablement plus faible que dans les mines de la Pointe de Keweenaw.

Les masses de cuivre ont été nombreuses à une faible profondeur, et semblent augmenter d'importance aux niveaux inférieurs; leur épaisseur la plus ordinaire est comprise entre $0^m,25$ et $0^m,50$; cependant une d'elles a présenté jusqu'à $1^m,60$ de puissance, et le directeur m'a certifié qu'on en avait déjà retiré plus de 200 tonnes de cuivre.

Les masses de métal ont la surface très-irrégulière, ne peuvent pas être bien débarrassées de la gangue sous le marteau, et rendent au plus 78 p. 100 de cuivre pur.

La gangue imprégnée de cuivre est envoyée à la préparation mécanique, établie à plus de 2 kilomètres de distance. Je n'ai pu me procurer de renseignement positif sur son rendement.

En janvier 1854, on avait enlevé dans la mine environ 16,500 mètres carrés de surface latérale, sur une épaisseur variable avec la puissance du filon, et retiré 72 kilogrammes de cuivre par mètre; ce résultat prouve que la veine du nord de Minnesota est notablement moins riche que le filon de Cliff-Mine, qui donne plus de 100 kilogrammes par mètre carré.

La veine du sud est mise en exploitation seulement depuis 1852; les travaux sont poussés maintenant à trois niveaux par deux puits inclinés, profonds de 75 mètres et foncés dans la veine elle-même. Elle produit de l'argent natif, engagé dans le calcaire et souvent mélangé avec le cuivre; de petites masses de cuivre très-irrégulières et de la gangue à bocarder, mais seulement en très-faible proportion.

Les établissements à la surface sont déjà très-développés et les défrichements commencés sur une très-large échelle.

La compagnie emploie 340 personnes, soit dans la mine, soit pour les travaux de la surface, et ce nombre paraît devoir être augmenté prochainement. La production annuelle est maintenant de 580 tonnes de cuivre pur, et le directeur a l'espérance de l'augmenter progressivement.

Les opérations de la compagnie sont résumées dans le tableau suivant, tiré de l'ouvrage de M. Whitney.

Années.	DÉPENSES.	TENEUR en cuivre des produits exposés.	CUIVRE pur produit.	RECETTES.	DIVIDENDE par action.	DIVIDENDE total.
	fr.		kil.	fr.	fr.	fr.
1848	69.200	75	4.975	»	»	»
1849	138.400	75	38.500	»	»	»
1850	307.400	75	75.000	»	»	»
1851	466.400	72	184.900	»	»	»
1852	652.668	74	233.620	271.413	»	»
1853	891.693	72	537.810	1.800.000	»	»
1854	»	72	580.000	»	159	477.000

Le capital social était divisé en 3,000 actions, sur lesquelles on avait appelé 30 dollars, soit 159 francs ; la société vient d'augmenter son capital en portant à 10,000 le nombre des actions, dans le but de mettre le capital en relation avec l'importance de l'entreprise et de créer un fond de roulement suffisant.

Forest. La concession de Forest est située à l'ouest de la rivière d'Ontonagon, sur des montagnes élevées de près de 200 mètres au-dessus du lac, appartenant aux premiers contre-forts de la chaîne du sud. Je ne peux cependant rien préciser à cet égard : la large vallée dans laquelle coule la rivière semble répondre à une faille transversale qui a changé les alignements ; en direction, la mine de Forest serait sur le prolongement du filon de Minnesota ; mais les caractères des gîtes exploités semblent indiquer que cette mine appartient à la chaîne du sud.

Les affleurements présentent des excavations anciennes dans lesquelles on a commencé les explorations vers la fin de 1849 ; les premiers travaux ont fait trouver des masses de cuivre pesant jusqu'à deux tonnes, que les Indiens avaient laissées ; et par suite, on a conçu les plus belles espérances pour l'avenir de l'exploitation, espérances qui ne se sont pas encore réalisées.

Le filon exploité est dirigé N. 65° E., et plonge vers le nord sous un angle de 60° ; il est intercalé entre deux bancs de trapp amygdaloïde et grenu, dans lesquels la matière de remplissage a pénétré. Il est composé de quartz blanc laiteux, de chlorite et d'épidote mélangée avec du quartz et avec du calcaire. On n'a obtenu que de très-petites masses de cuivre et du cuivre disséminé en grains, dans le quartz et surtout dans l'épidote.

On a foncé trois puits profonds de 85 à 100 mètres, et poussé quatre niveaux en direction ; dans la profondeur, la richesse du filon ne paraît pas augmenter.

L'atelier de préparation mécanique a été brûlé en mars 1853 ; il vient d'être reconstruit au bord de la rivière, à 3 kilomètres des puits. On a établi en même temps un plan incliné, sur lequel les waggons chargés de gangue à bocarder descendent presque sans frais au bocard.

Ces constructions et toutes les installations de surface sont très-belles, et répondent plutôt aux espérances conçues dans les premiers temps qu'aux résultats donnés par l'exploitation. Jusqu'à présent la mine de Forest n'a fait que très-peu d'expéditions, et son avenir n'est pas encore assuré.

Toltec. La concession de Toltec est située à 20 kilomètres au N.-E. de Minnesota, et paraît être dans la même position, c'est-à-dire sur le versant méridional de la chaîne centrale. A cette position et aux espérances qu'elle fait concevoir, bien plus qu'aux résultats obtenus, doivent être attribuées les dépenses qui ont été faites pour les établissements à la surface et pour la route en planches qui reliera bientôt cette mine à la ville d'Ontonagon (1).

On a formé deux puits principaux et trois puits secondaires dans un filon très-irrégulier, dirigé N. 60° E., et plongeant vers le nord sous un angle de 60° environ ; on le compare à la veine du nord de la mine de Minnesota, et l'affleurement de la veine du sud est indiqué, au pied de la montagne, au contact du conglomérat, que les alluvions laissent à découvert en plusieurs points.

Les deux puits principaux ont 72 et 75 mètres de profondeur, et sont munis de manéges pour l'extraction. En direction, on a poussé trois niveaux : le plus

(1) La route en planches est faite à frais communs par les mines Toltec, Adventure, etc..., qui sont de ce côté.

élevé sert de galerie d'écoulement et reconnaît le filon sur plus de 200 mètres de longueur; le second est moins avancé et le troisième est à peine commencé. La puissance du filon est extrêmement variable, de $0^m,06$ à 2 mètres et plus; des veines secondaires ont été constatées en plusieurs points, mais n'ont pas été suffisamment explorées.

Dans les étranglements, le filon est très-quartzeux; dans les renflements, il est rempli par du quartz, de la chlorite, du calcaire spathique, de l'épidote verte, de la matière rouge et des fragments du trapp encaissant, formant des brèches à grandes parties. On a constaté des veinules de laumonite, mais je n'ai vu nulle part ce minéral en veines un peu puissantes. Les renflements présentent souvent des géodes en partie remplies par de l'argile rouge et tapissées de cristaux de quartz.

Les vieux travaux qu'on peut suivre sur la montagne, à une grande distance vers le N.-E., paraissent indiquer que la partie riche du filon se trouve à l'est de la partie maintenant explorée.

Dans les travaux actuels, on a trouvé quelques petites masses de cuivre et ce métal disséminé en grains dans la gangue; la matière à bocarder paraît tenir de 2 1/2 à 5 p. 100 de cuivre dans les parties riches.

Les travaux ne sont pas encore assez développés pour qu'on puisse se prononcer sur l'avenir; il faut attendre qu'on ait pu mieux explorer la profondeur, la veine du sud, et principalement les parties qui répondent aux anciennes excavations.

Adventure. La mine Adventure est située au S.-O. et à une faible distance de Toltec, dont elle est séparée par la vallée. Des travaux assez importants ont été faits dans un filon intercalé entre un banc de trapp amygdaloïde et un banc de trapp grenu. La direction est N. 75° E. et le

pendage de 60 à 65° vers le nord; la gangue contient du quartz et du calcaire spathique, de la chlorite et des fragments de trapp, et des masses considérables d'épidote verte intimement mélangée avec du calcaire.

La puissance est difficile à définir, parce que la matière de remplissage a pénétré la roche amygdaloïde à une distance assez grande du filon. Aux affleurements on distingue deux veines peu distantes, dont la puissance est de $0^m,25$ à $0^m,35$.

On a dépensé plus de 300,000 francs en travaux souterrains et produit : un peu d'argent natif, quelques petites masses de cuivre, et du cuivre disséminé en petits grains dans l'épidote et dans l'amygdaloïde imprégnée des matières du filon.

A la mine Adventure comme à Forest, et en général comme dans toutes les entreprises tentées dans la chaîne du sud, on a déblayé d'anciens travaux contenant des petites masses de cuivre, et à une profondeur plus grande, on n'a plus trouvé que des matières à bocarder, pauvres en cuivre, et des petites masses trop peu nombreuses pour qu'on puisse espérer faire des bénéfices.

En quatre ans, la mine Adventure n'a expédié que 14 à 15 tonnes de cuivre.

Ridge. La concession Ridge est située au S.-O. de la précédente et sur la même montagne. On exploite un filon d'épidote, intercalé entre le trapp grenu et le trapp amygdaloïde, peu puissant et surtout très-pauvre en cuivre. L'amygdaloïde est imprégnée des matières du filon et doit être extraite en forte proportion pour être soumise au bocardage.

On a foncé deux puits inclinés profonds de 110 et 120 mètres, et commencé l'exploitation à quatre niveaux différents.

On n'a obtenu que de très-petites masses de cuivre et de la roche épidotique ou amygdaloïde, pauvre en

métal. On a dépensé, pour les travaux souterrains et pour la construction d'un bocard à douze pilons, avec machine à vapeur, au moins 400,000 francs sans résultat favorable.

§ V. — *Considérations générales.*

Les détails dans lesquels je suis entré au sujet des mines exploitées au lac Supérieur, peuvent se résumer en quelques lignes.

Les Indiens ont exploité de tout temps les affleurements; ils ont cherché principalement les petites masses de cuivre et ne sont pas descendus au-dessous du niveau des eaux.

Les travaux modernes ont commencé vers 1842, mais ne sont devenus réguliers qu'après l'achèvement de la carte géologique. Les terrains métallifères sont maintenant possédés :

1° Par des compagnies sérieuses et puissantes exploitant avec une grande persévérance, et dont un petit nombre est arrivé ou arrivera bientôt à des résultats favorables;

2° Par des particuliers ou des associations manquant de capitaux suffisants. Bien des explorations ont été commencées, puis abandonnées, sans qu'on puisse conclure que les filons sont inexploitables;

3° Par des compagnies et des sociétés qui ont acheté à bas prix tout ce qu'elles ont pu acquérir, et qui cherchent à vendre à des sociétés nouvelles américaines et étrangères, par portions et à des prix élevés, des filons à peine explorés aux affleurements.

A la pointe de Keweenaw, on doit distinguer deux zones dans lesquelles les filons transversaux sont notablement riches; elles sont séparées par une chaîne continue de trapp cristallin, traversée par les filons, divisés en plusieurs veines et presque stériles.

Dans la zone du nord, une seule mine est en exploitation, mais n'a pas encore payé de dividendes à ses actionnaires, après avoir dépensé plus d'un million de francs : c'est la mine de Copperfalls. Elle a suivi pour ses travaux un système de longues galeries et de puits, par lesquels elle arrivera bientôt à une production importante. Elle exploite deux filons et une couche de trapp amygdaloïde imprégnée de cuivre.

Dans la zone du sud, plusieurs filons ont été bien explorés, puis abandonnés. Ceux dans lesquels les travaux sont encore en activité présentent de grandes différences : les uns sont peu riches à la surface et en profondeur; d'autres ont présenté aux affleurements une apparence peu favorable et deviennent beaucoup plus riches en masses de cuivre à mesure qu'on approfondit les travaux; un seul, celui de Cliff-Mine, s'est montré riche dès la surface, et contient d'énormes masses de cuivre à tous les niveaux explorés jusqu'à présent.

La mine de Cliff a donné des dividendes magnifiques en raison de sa position toute spéciale. Les mines de Southcliff et Northwestern paraissent devoir produire bientôt beaucoup de cuivre et donner des dividendes. Plusieurs filons à peine explorés se présentent sous un aspect assez favorable, et donneront probablement de bons résultats s'ils sont mis en exploitation sérieusement et avec des capitaux convenables.

Dans toutes ces mines le cuivre est à l'état natif; on trouve également une notable proportion d'argent, soit pur, soit mélangé avec le cuivre, mais il n'a pas encore été produit en quantité suffisante pour donner des bénéfices.

Au sud des *Bohemian-Mountains*, on a fait quelques explorations dans des filons irréguliers, contenant des

minerais sulfurés et non plus du cuivre natif. Les travaux sont maintenant abandonnés.

Dans la région du lac Portage, les gisements de cuivre et d'argent natifs sont explorés activement depuis un petit nombre d'années ; on n'a pas encore signalé une seule exploitation productive.

Dans la contrée d'Ontonagon, les entreprises de mines ont été très-nombreuses et des sommes énormes ont été dépensées. Une seule mine est reconnue très-riche, celle de Minnesota, qui a donné son premier dividende en 1854. Elle n'est pas encore arrivée à produire autant de cuivre que Cliff-Mine, mais une de ses veines contient assez d'argent natif pour qu'on puisse espérer des bénéfices provenant spécialement de ce métal.

Dans son voisinage immédiat, deux ou trois explorations sont commencées et donnent déjà ou paraissent devoir donner prochainement de très-bons résultats.

Les compagnies qui exploitent des filons dans la chaîne du sud, ont fait des dépenses considérables sans produire des quantités notables de cuivre. Les filons sont pauvres à une grande profondeur.

A l'île Royale, on a tenté de nombreuses explorations ; deux filons seulement sont exploités, et leur production annuelle ne dépasse pas 40 tonnes de cuivre.

Au nord du lac, dans le Canada, plusieurs filons ont été travaillés ; ils contiennent de l'argent natif, des minerais sulfurés de cobalt et de cuivre et de la blende.

Les mines de la pointe de Keweenau et de la contrée d'Ontonagon ont commencé à produire en 1845, depuis lors les expéditions ont augmenté rapidement d'année en année ; cet accroissement deviendra plus marqué à mesure que la population deviendra plus nombreuse, et les communications avec les lacs inférieurs plus faciles et plus assurées.

Tableau de la production des mines de cuivre.

Années	1845	1846	1847	1848	1849	1850	1851	1852	1853
Tonnes de cuivre pur. . .	12	26	214	461	674	574	781	795	1299

En 1854, les mines ont expédié 2,350 de cuivre par contenu dans les masses et dans les produits de la préparation mécanique. La production dépassera 3,200 tonnes en 1855, et continuera certainement à croître dans une progression plus ou moins forte.

En présence du nombre considérable de filons encore inexplorés, et dont plusieurs pourront donner lieu à des exploitations productives, il n'est pas possible d'assigner une limite à la production du lac Supérieur.

A côté de la production, il convient de placer les dépenses qui ont été faites pour arriver aux résultats obtenus. Depuis le commencement des travaux d'exploration en 1842 jusqu'à la fin de 1853, les mines ont produit 4,836 tonnes de cuivre, dont la valeur peut être évaluée à 11 millions de francs ; les dépenses faites dans toute la contrée, dans la même période, dépassent 25 millions.

La grande différence entre les dépenses et les valeurs des produits dépend en partie des tentatives faites dans le principe au hasard et dans la contrée inhabitée. Elle s'explique aisément par la nécessité de tout créer, et d'acquérir la connaissance du mode de gisement des métaux utiles.

En 1854, la valeur produite, 2,350 tonnes de cuivre, représente 6,500,000 francs environ ; il m'a été impossible de me rendre compte des dépenses, mais je ne pense pas qu'elles aient été inférieures à sept millions. Je crois pouvoir affirmer que pendant plusieurs années encore, les dépenses faites dans toute la con-

trée ne seront pas notablement inférieures à la valeur du cuivre. Il en sera ainsi tant qu'un grand nombre de nouvelles entreprises seront faites pour l'exploration et la mise en exploitation de nouveaux gisements.

On aura longtemps encore un petit nombre de mines favorisées, produisant plus qu'elles ne dépensent, à côté d'un plus grand nombre exploitant à perte ou dépensant pour leurs installations.

Les capitaux américains ne suffisent pas pour donner aux entreprises du lac Supérieur l'activité qu'elles devraient avoir, et les possesseurs de terrains cherchent à former des sociétés en France, en Angleterre et même en Allemagne.

Plusieurs de ces terrains sont dans des positions très-favorables, et les affleurements des filons sont assez beaux pour que les capitaux étrangers aient un intérêt à faciliter les travaux. Ces entreprises doivent être présentées sous leur aspect véritable, comme de simples explorations, qui peuvent conduire à de beaux résultats.

L'intérêt bien évident des Américains qui possèdent des terrains, et qui n'ont pas les capitaux nécessaires pour développer les exploitations, est de s'unir avec les capitalistes étrangers, directement et avec des prétentions modérées. Quand cette vérité aura été bien comprise, de grandes entreprises pourront être tentées dans ces contrées lointaines, avec des espérances raisonnables de réussite.

ESQUISSE

D'UNE CLASSIFICATION DES CHAINES DE MONTAGNES D'UNE PARTIE DE L'AMÉRIQUE DU NORD.

Par M. Jules MARCOU.

Essayer de classer géologiquement, c'est-à-dire, d'après leur ordre chronogique, les différentes chaînes de montagnes qui se trouvent aux États-Unis et dans les provinces anglaises de l'Amérique du nord, est un travail qui actuellement ne peut être que provisoire, vu le petit nombre d'observations et l'immense étendue de pays que comprend cette partie du Nouveau-Monde.

Dans l'Europe occidentale, M. Élie de Beaumont a reconnu et classé vingt et un systèmes de chaînes de montagnes, et, de plus, ce savant a prolongé plusieurs de ces systèmes dans les autres parties du monde. Deux de ces prolongements coïncident de la manière la plus parfaite avec deux systèmes de montagnes, qui se trouvent dans la partie de l'Amérique du nord, embrassée dans cette esquisse. L'un désigné sous le nom de *système des Ballons et des collines du Bocage*, et qui a disloqué les couches du terrain houiller en Bretagne, le Westmoreland, les Vosges et les montagnes du Hartz, coïncide exactement avec le *système des Alleghanys*, qui a redressé aux États-Unis les couches carbonifères des États de Pensylvanie, Maryland, Virginie, Kentucky, Tennessée, etc. L'autre, connu sous le nom de *système du Thuringerwald et du Morvan*, prolongé en Amérique, se trouve y coïncider en tout avec le *système de la pointe Keewenau et du cap Blomidon.*

En m'appuyant sur les méthodes inventées et expo-

sées avec tant de talent par M. Élie de Beaumont, dans son dernier et si remarquable ouvrage intitulé : *Notice sur les systèmes de montagnes*, et en me servant de quelques excellentes observations faites par MM. Jackson et Hitchcock, sur les directions des roches brisées et redressées dans la Nouvelle-Angleterre, la Nouvelle-Écosse et le lac Supérieur, je suis parvenu à reconnaître treize systèmes de chaînes de montagnes dans une partie de l'Amérique du nord. En déduisant de ce nombre les deux systèmes que M. Élie de Beaumont a reconnu antérieurement par la prolongation de deux de ses systèmes de l'Europe occidentale, il me reste onze systèmes de montagnes que je viens ajouter à ce que nous connaissions sur cette partie de la géologie.

Cependant, je le répète, cette classification n'est que provisoire, et je la donne sous toutes réserves, vu le petit nombre, la difficulté et l'insuffisance des observations.

Pour l'intelligence de ce qui va suivre, il sera nécessaire de jeter les yeux sur la carte géologique de l'Amérique du nord qui est jointe à ce mémoire (voir Pl. IX).

I. *Système des montagnes Laurentines.*

Les roches granitiques, syénitiques et de gneiss qui forment la masse principale des montagnes Laurentines, sur la rive droite du fleuve Saint-Laurent, sont affectées par de nombreuses dislocations qui les ont relevées de différentes manières. Ces dislocations ne sont pas toutes de la même époque; cependant il y a une direction principale qui est beaucoup plus importante que les autres directions et qui va presque de l'est à l'ouest avec une déviation moyenne de près de 5 degrés; cela fait pour direction de ce système E. 5° N. à O. 5° S.

Ces dislocations sont les plus anciennes que j'ai pu observer dans l'Amérique du nord. Je les regarde comme

antérieures au dépôt des premières couches du silurien inférieur, c'est-à-dire avant la formation du *Potsdam sandstone*, renfermant la faune primordiale de M. Barrande.

Étant les plus anciennes, il s'ensuit naturellement que ces dislocations primitives, qui forment en réalité la masse des Laurentines, ont été soumises à beaucoup d'altérations par suite du croisement de directions des dislocations postérieures; et si l'on ajoute à cela la grande difficulté d'explorer les pays sauvages et déserts où on les rencontre, on aura par là une idée des obstacles que présentent leurs études. Les localités où l'on peut le mieux observer ce plus ancien système de dislocation sont : la côte nord du lac Supérieur, entre les factories de Michipicoton et du Pic; le côté nord du lac Huron, entre la rivière Française, le lac Nipissing et le fort la Cloche; enfin la ligne qui va du lac Simcoe (Haut-Canada) un peu au nord de la ville de Kingston.

Je considère comme appartenant au même système de dislocation le centre du groupe de montagnes formé de roches éruptives et métamorphiques qui constitue les hautes terres des États de Wisconsin et de Michigan, entre le Haut-Mississipi, le lac Michigan et le lac Supérieur. Je dis seulement le centre de ce groupe, parce que je fais exception pour les traps cuprifères de la côte sud du lac Supérieur, dont l'âge est beaucoup plus récent, aussi bien que la plus grande partie des dislocations qui s'étendent de la rivière Wisconsin à la rivière Menomonee. La plupart des montagnes de la partie nord de l'État de New-York, entre les Mille-Iles et le lac Georges, sont de la même époque, aussi bien que deux petits groupes granitiques dans l'État du Maine, entre le lac Moosehead et la rivière Saint-Jean, et enfin les montagnes au nord de la province du Nouveau-Brunswick, près de Bathurst.

A l'ouest du Mississipi, entre le Missouri, le Llano-Estacado, le rio Grande del Norte et le golfe du Mexique, on rencontre cinq massifs de montagnes granitiques, dont la direction et l'âge paraissent coïncider avec le système des montagnes Laurentines. L'un de ces massifs est situé dans la partie sud de l'État de Missouri; un autre passe à Little-Rock, où il est traversé par la rivière Arkansas; un troisième, le moins considérable de tous, se trouve à 25 milles à l'est du fort Washita; le quatrième forme un excellent point de repère au milieu des immenses prairies du pays des Indiens-Commanches et est connu sous le nom de montagnes de Witchita; enfin, le cinquième et dernier occupe le nord du Texas, où il est traversé par le rio Colorado, entre les rios Llano et San Saba.

II. *Système des Deux-Montagnes et de Montmorency.*

Les dislocations qui ont donné naissance à ce système ont eu lieu à la fin des dépôts des couches du silurien inférieur, c'est-à-dire après la formation des roches du groupe de Potsdam. Sa direction, d'après le petit nombre d'observations que j'ai pu faire, paraît être approximativement E. 40° N. à l'O. 40° S. Les assises du groupe de Potsdam sont très-relevées près de leurs jonctions avec les roches éruptives, et elles sont souvent métamorphiques, ce qui leur donne un aspect et une composition de quartzites très-dures. Les localités où ce système de dislocation peut être le mieux observé sont: les environs de Québec, particulièrement entre les cataractes de Montmorency et de Lorette; le mont Calvaire, dans le comté des Deux-Montagnes, près de Montréal; et à Little-Falls, dans l'État de New-York.

Je pense que l'on peut regarder comme du même

âge les dislocations qui ont eu lieu sur le côté nord-ouest des montagnes qui sont au nord de l'État de New-York, et sur quelques points de la ligne de jonction des roches siluriennes et métamorphiques qui s'étendent entre les rivières Wisconsin et Menemonee, dans la partie est de l'État de Wisconsin.

Le mouvement qui a donné naissance à ce système de dislocations a été beaucoup moins considérable que lors de l'apparition du système des montagnes Laurentines, et aussi il ne s'est pas fait sentir sur d'aussi grandes distances; il a seulement modifié quelques parties du soulèvement précédent, en le croisant et le pénétrant pour former des petites chaînes adjacentes à celles des montagnes plus anciennes.

III. — *Système de Montréal.*

Dans beaucoup de localités et plus spécialement à la cataracte de Montmorency et à Little-Fall, on trouve les couches du second groupe du silurien inférieur que je nomme *silurien moyen*, ou groupe de Trenton, déposées horizontalement sur les strates très-inclinées du groupe de Potsdam, et étant par conséquent en stratification discordante. Ces couches du groupe de Trenton ont été aussi soumises à des brisements et dislocations immédiatement à la fin de leur dépôt. Sans présenter ni grandes perturbations, ni grands soulèvements, ces dislocations, qui ont eu lieu à la fin du dépôt des calcaires de Trenton, sont néanmoins très-clairement marquées, et ont laissé des traces très-visibles, plus particulièrement dans le Bas-Canada. Le sommet de la montagne qui domine la ville de Montréal est formé de filons de *greenstone* ou *trapp*, qui ont entièrement croisé les assises du groupe de Trenton et se sont quelquefois même étendus en coulée sur ces roches

siluriennes. On rencontre plusieurs autres de ces filons de trapp ayant exactement la même position sur les bords de la rivière Ottawa, aussi bien que sur les montagnes de Bel-OEil, Rougemont, Montanville et Johnson, près des rivières Richelieu, Huron et Yamaska. Ces autres filons me paraissent appartenir au même système de dislocations que ceux de la montagne de Montréal, et leur direction générale est précisément de l'est à l'ouest.

Je pense que des traces de ce système se trouveront dans d'autres régions et plus particulièrement dans le Haut-Canada et les États de New-York et du Maine.

IV. *Système des monts Notre-Dame.*

Si le système précédent n'a que très-faiblement brisé et relevé les strates, il n'en est pas de même avec ce système que j'appelle *système des monts Notre-Dame* et qui a eu lieu à la fin du dépôt des roches formant le silurien inférieur. Les couches formant le troisième groupe du silurien inférieur, ou ce que j'ai appelé depuis la partie supérieure du silurien moyen, sont composés de nombreuses strates de schistes marneux de couleur noirâtre, connues dans l'État de New-York sous le nom de groupe d'Utica et de la rivière Hudson. Ces assises, qui forment presque entièrement les bancs de la rivière Richelieu, du fleuve Saint-Laurent au-dessous de Montréal, et sur lesquelles est située la ville de Québec, ont été relevées tout le long de cette ligne et jusqu'au cap Rozière, à l'extrémité de Gaspé.

Les monts Notre-Dame, formés de roches éruptives et métamorphiques et dont quelques sommets atteignent 1.150 mètres, doivent entièrement leur origine à ce mouvement de dislocation, dont la direction moyenne à Gaspé paraît être E. 20° N. à l'O. 20° S. Je

pense que beaucoup d'accidents orographiques des chaînes de montagnes qui s'étendent entre la pointe Lévy, près de Québec, jusqu'au lac Champlain, doivent leur origine à ce système de relèvement; cependant les directions sont peu distinctes, par suite du croisement des chaînes avec le système de dislocation qui a suivi immédiatement et qui a formé les montagnes Vertes du Vermont.

V. *Système des montagnes Vertes ou Méridien de la Nouvelle-Angleterre.*

Depuis longtemps M. Hitchcock a distingué ce système, qu'il a désigné sous le nom de *Oldest meridional and Hoosac Mountain system.* Très-développé dans la partie occidentale de l'État de Massachussets, il forme entièrement les *Green mountains* du Vermont et s'étend dans le Bas-Canada jusqu'à la rivière Chaudière. Sa direction générale est très-voisine du méridien, avec une légère déviation vers l'Orient, ce qui donne pour moyenne N. 7° E. et S. 7° O.

Les dislocations qui ont donné naissance à cette ligne de chaînes de montagnes ont eu lieu avant l'apparition des Alleghanys, et même immédiatement après le dépôt du silurien supérieur, comme le prouve les roches métamorphiques fossilifères que MM. Jackson et Logan ont trouvés sur les bords des lacs Memphremagog et Saint-François. De sorte que je le regarde comme s'étant élevé et ayant mis fin à la période silurienne en Amérique et avant le dépôt des couches dévoniennes.

Les roches ignées, qui ont alors fait éruption à travers la surface solide de la croûte terrestre, ont relevé très-fortement toutes les strates sédimentaires déposées antérieurement; et de plus, elles les ont souvent renversés, ployés et contournés, en les soumettant en

même temps à des actions métamorphiques très-puissantes, et qui se sont fait sentir jusqu'à d'assez grandes distances des centres éruptifs.

Le système des montagnes Vertes s'étend, ainsi que je l'ai dit précédemment, depuis la rivière Chaudière, dans le Bas-Canada, jusque dans l'État de Vermont, qu'il forme presque entièrement; il comprend ensuite le comté de Berkshire et la ligne de collines qui s'étend entre la rivière Connecticut et la ville de Worcester, dans l'État de Massachussetts; puis il occupe les comtés de Litchfield et Fairfield, dans l'État de Connecticut, et il se termine dans les environs de Bridgeport sur le Sound de la Longue-Isle.

Sur la ligne frontière, entre les États de Connecticut et de New-York, on voit des croisements de ce système avec celui des Alleghanys; ce dernier, à une époque bien postérieure, étant venu se butter contre les dislocations du système Méridien, qu'il a même pénétré en plusieurs endroits. La carte géologique de l'État de New-York, publiée par ordre de la Législature de cet État, montre très-clairement les points de rencontre de ces deux systèmes.

La vallée du fleuve Hudson, depuis Saratoga jusqu'à West-Point, a été formée entièrement par le système des *Green mountains*, et elle est parallèle à cette direction. Les montagnes Vertes présentent sur plusieurs points du Vermont et plus spécialement à la rivière Chaudière, dans le Bas-Canada, des veines de quartz qui traversent des itacolumites et contenant de l'or natif en assez grande quantité.

Les montagnes Blanches de l'État de New-Hampshire doivent probablement une partie de leurs élévations à ce système. Mais l'insuffisance et la difficulté des observations dans ce pays de montagnes agrestes et sauvages ne me permettent pas de risquer des suppositions sur l'âge ou les âges des chaînes qui forment ce groupe des *White mountains*.

Je considère comme appartenant au système des montagnes Vertes les brisements et élévations qui se trouvent dans la Nouvelle-Écosse, entre Mérigomish, Arisaig et le cap Saint-Georges.

VI. *Système des monts Catskill.*

La fin de la période dévonienne a été marquée par des brisements et élévations des assises de l'*old red sandstone* sur presque toute la ligne méridionale de l'État de New-York. La disposition générale des assises, particulièrement près du village de Catskill, donne pour direction du soulèvement E. 15° S. à l'O. 15° N., direction qui coïncide avec les systèmes nos 3 et 6 que M. Hitchcock a indiqué dans la partie sud-est de l'État de Massachussetts. Ces systèmes de M. Hitchcock ont disloqué des assises qui, quoique très-altérées par le métamorphisme, peuvent cependant être reconnues comme de l'époque du dévonien; elles forment les contours du bassin anthraxifère du comté de Bristol. Dans le Nouveau-Brunswick, on observe sur le contour du terrain houiller diverses lignes de dislocations dont la direction rentre dans celle des monts Catskill.

M. J.-W. Dawson, le savant géologue de Pictou, vient dans un récent et très-remarquable livre, intitulé *Acadian Geology*, de rapporter à la fin de la période dévonienne : les monts Cobequids, les montagnes du cap Porcupine, dane la nouvelle-Écosse, et presque toutes les collines de la partie sud-est de l'île du Cap-Breton. Suivant cet habile observateur, la direction de cette ligne de dislocation serait O. 10° S., ce qui différerait de 25° avec la direction des monts Catskill.

VII. *Système des Alleghanys et des monts Ozarks.*

Les géographes et les géologues ont appelé Alleghanys ou chaîne des Appalaches toutes les montagnes qui s'étendent depuis Montgomery, dans l'État d'Alabama, jusqu'au cap Rozière et à Gaspé à l'embouchure du fleuve Saint-Laurent. D'après la classification précédente, la presque totalité des montagnes qui se trouvent dans les États de Massachussets, Vermont, New-York et Maine, et dans le Haut et Bas-Canada, sont de beaucoup antérieures à l'apparition des Alleghanys; et de plus, j'ai distingué six systèmes de chaînes de montagnes d'âges et de directions différentes et n'ayant aucune connexion avec l'âge et la direction des Alleghanys. Ainsi je suis conduit par là à considérer, au point de vue géographique, les Alleghanys comme commençant entre Montgomery et Tuscalosa, dans l'Alabama, et s'étendant sans interruption jusque sur la rive gauche de la partie inférieure du fleuve Hudson, dans le comté de Putnam, État de New-York. Et au point de vue géologique, ce système de dislocations alleghaniennes se continue dans l'État de Connecticut jusqu'à l'est de New-Haven; il traverse l'État de Rhode-Island, qu'il forme presque en entier, puis il traverse la partie orientale du Massachussets, passant par la ville de Lowell et se terminant à Portsmouth, dans le New-Hampshire; puis il reparaît au cap Sable, dans la Nouvelle-Écosse, et s'étend sans interruption jusqu'au cap Canso et à l'extrémité de l'île du Cap-Breton, et enfin il forme toutes les parties orientales et centrales de Terre-Neuve.

La direction générale du système des Alleghanys est du nord-est au sud-ouest. On remarque une déviation plus à l'est dans la partie de ces montagnes qui s'étendent des environs d'Harrisburg, en Pensylvanie, jusqu'aux environs de la ville de New-York. Cette déviation provient de la rencontre des dislocations de ce système avec ceux du système Méridien de la Nouvelle-Angleterre, qui, en se croisant et pénétrant l'un l'autre, ont eu pour résultante une direction mixte faisant un angle de 8 ou 10 degrés plus à l'est, pour la région des Alleghanys qui se trouve entre les rivières Susquehannah et Hudson. L'influence de cette déviation s'est fait sentir beaucoup plus au sud-ouest, et je n'hésite pas à lui attribuer des failles considérables, que l'on rencontre en suivant les pieds des plus hautes chaînes des Alleghanys, dans les parties occidentales de la Pensylvanie, de la Virginie et du Tennessee, et qui présentent de temps à autre des courbes très-anguleuses en forme de baïonnettes.

L'époque précise de la dislocation et du relèvement du système alleghanien est la fin du dépôt du groupe carbonifère ou terrain houiller proprement dit. L'on doit presque entièrement à ce système l'élévation des États du milieu et de l'ouest de l'Union américaine.

Le groupe connu sous le nom de montagnes Ozarks appartient à ce système de dislocation des Alleghanys; il a eu lieu aussi à la fin du dépôt du terrain houiller, qu'il a relevé et disloqué dans la même direction nord-est au sud-ouest. Seulement il y a une distinction géologique essentielle à établir sur ce que l'on a nommé les *Ozark mountains*. Les géographes, et plus spécialement le major Long, qui le premier a fait une exploration scientifique dans ces régions, ont compris sous cette dénomination d'Ozark toutes les montagnes qui se trouvent entre le Mississipi, le Kansas, les Prairies et la rivière Rouge. Mais précédemment on a vu que j'ai rapporté au système des montagnes Laurentines plu-

sieurs massifs de montagnes granitiques qui se trouvent compris dans les limites que je viens d'indiquer et qui sont dirigés de l'E. 5° N. à l'O. 5° S. Les roches carbonifères reposent horizontalement aux pieds de ces massifs qu'elles environnent, et par conséquent les dislocations qu'elles ont subies dans ces régions sont de beaucoup postérieures à l'apparition de ces îlots de roches éruptives. D'ailleurs les directions des brisements et relèvements du terrain houiller sont tout à fait différentes, et elles coïncident avec celles du système des Alleghanys.

Les chaînes de montagnes formant le système Ozark proprement dit, en en excluant les massifs granitiques du fort Washita, de Little-Rock et de Potosi, sont composées de lignes parallèles courant du nord-est au sud-ouest, avec une légère déviation vers le nord et ayant une largeur qui varie de 40 à 200 lieues. Ces chaînes partent des sources de la rivière Little-Sioux, dans le nord-ouest de l'État d'Iowa; elles traversent le Missouri et la Platte, un peu au-dessus du point de jonction de ces deux rivières, et forment la limite entre la Prairie et les pays boisés. Dans l'Arkansas, on les voit très-développées dans le comté de Washington, près des villes d'Ozark, de Van Buren et de Shawnee; le mont Delaware, près du fort Arbuckle, en fait aussi partie. Enfin ce système, qui est traversé par la rivière Rouge près de Preston, se poursuit dans la partie nord du Texas, où il forme des lignes de collines sur les rios Brazos, Trinity et Colorado.

Le groupe des monts Ozarks n'est percé nulle part par des roches éruptives. Il doit être considéré comme un second ploiement des monts Alleghanys, qui s'est effectué parallèlement au premier et à une distance de 500 lieues. L'élévation de ces montagnes n'est jamais

bien considérable, elle varie entre 200 et 1.000 pieds au-dessus du niveau des plaines environnantes.

VIII. *Système de la pointe Keewenau et du cap Blomidon.*

Les roches triasiques, ou plus correctement du *nouveau grès rouge*, jouent au point de vue de l'extension géographique, dans les États-Unis, un rôle des plus importants, car elles seules recouvrent le tiers de cet immense pays, et, jointes aux roches carbonifères, elles forment les deux tiers, laissant seulement un tiers de la surface de cette moitié du continent pour les roches éruptives et des autres périodes des terrains sédimentaires. Les assises du trias ont été soumises à deux dislocations spéciales, qui ont eu lieu, l'une vers le milieu de la période du dépôt et l'autre à la fin. Cette dernière est de beaucoup la plus importante; cependant le premier relèvement des strates du *New-Red Sandstone* s'est fait sentir à des distances assez éloignées et avec une intensité qui, sans être très-considérable, a cependant produit des chaînes de montagnes assez importantes, surtout au lac Supérieur et dans la baie de Fundy.

Après avoir fait beaucoup d'observations sur les directions que présente la première dislocation, je suis arrivé à la direction moyenne de l'E. 35° N. à l'O. 35° S. Dans plusieurs localités, et plus spécialement dans les vallées du Connecticut et du New-Jersey, on rencontre de nombreux filons de trapp appartenant à ce système et dont la direction est plus vers le nord, se confondant quelquefois avec le système des Alleghanys ou même avec celui des montagnes Vertes; par suite évidemment de croisements qui ont changé la direction primitive de ces filons. Pour obtenir la direction normale de ce système, il faut l'étudier à la pointe Kee-

wenau, à l'île Royale et au cap du Tonnerre, sur le lac Supérieur, ou bien sur les deux côtes parallèles de la baie de Fundy, aux caps Split et Blomidon, ainsi qu'aux îles de la Madeleine, dans le golfe Saint-Laurent. Ces brisements des couches du trias inférieur enveloppent d'énormes filons de trapps basaltiques, qui ont fait éruption et se sont répandus en coulées recouvrant les assises sédimentaires. On trouve dans ce trapp des veines de cuivre natif qui traversent perpendiculairement les filons. En outre, on y trouve aussi fréquemment toutes les variétés de minerais de cuivre, de l'argent natif et beaucoup de minéraux zéolitiques.

La connaissance et l'importance du système de la pointe Keewenau et du cap Blomidon est due entièrement à M. le docteur Charles T. Jackson, géologue célèbre de Boston, et connu surtout dans tout le monde scientifique par sa découverte de l'éthérisation. Plusieurs géologues américains ont essayé vainement de rapporter ce système de dislocation à des systèmes plus anciens, allant même jusqu'à le faire rentrer dans le système des monts Laurentins. Après avoir étudié la question avec le plus grand soin et sur les lieux mêmes, je me suis rangé entièrement à l'opinion du docteur Jackson.

D'après des descriptions de sir R. H. Bonnycastle et de M. Logan, je rapporte à ce système plusieurs filons de trapps basaltiques et des assises de grès rouges qui se trouvent au cap Saint-Georges (Terre-Neuve), dans la baie des Chaleurs, entre la rivière Ristigouche, Richmond et le port Daniel. De plus, d'après des informations qui m'ont été communiquées sur la partie des montagnes qui environnent le fort Webster, dans la sierra Madre du Nouveau-Mexique; je pense que les filons de trapps cuprifères qui y ont été exploités à un

endroit appelé Santa-Rita del Cobre appartiennent au système de la pointe Keewenau et du cap Blomidon.

IX. *Système de la sierra de Mogoyon ou Blanca.*

Dans une des parties les plus centrales et inexplorées de l'Amérique du Nord se trouve un système de chaînes de montagnes nommé par les trappeurs et coureurs des bois sierra de Mogoyon ou sierra Blanca, qui s'étend entre la sierra Madre, le rio Colorado-Chiquito, le bill William-Fork, le rio Colorado-Grande de Californie et enfin le rio Gila; ou autrement entre les 35e et 33e degrés de latitude et les 108e et 114e degrés de longitude ouest de Greenwich. Ce système est composé d'un grand nombre de chaînes et chaînons parallèles dont la direction générale court du N. 60° O. au S. 60° E. Les parties les plus élevées de ces montagnes sont près des sources du rio Gila et du rio Prieto, où elles paraissent avoir de 3.000 à 3.500 mètres au-dessus du niveau de la mer.

D'après le petit nombre d'observations que j'ai pu faire dans une rapide reconnaissance géologique de cette région, je pense que ces chaînes de montagnes appartiennent toutes à un même système de dislocations qui a brisé et relevé les assises du trias supérieur et qui a mis fin à la période triasique ou du nouveau grès rouge d'Amérique.

Les roches que la sierra de Mogoyon a amenées au jour sont les suivantes : un granite très-amphibolique formant le centre, puis des roches quartzeuses métamorphiques recouvertes par des assises de l'*Old red Sandstone* ou dévoniennes; ces assises sont formées de couches de grès rouge très-dur, ressemblant au grès de Catskill mountain, dans l'État de New-York. Au-dessus se trouve le *mountain limestone* très-bien développé et contenant de nombreux fossiles caractéristiques de ce

terrain, puis des grès du terrain houiller, le *magnesian limestone*, et enfin les nombreuses assises du trias. Le terrain jurassique s'est déposé horizontalement sur les assises un peu relevées du trias et en stratification discordante, ainsi que je l'ai observé entre le fort Défiance et la fourche à Chevelon.

Je pense que les dislocations qui ont affecté le trias supérieur contenant de la houille près de Richmond, en Virginie, appartiennent à ce système, ainsi que des chaînes de montagnes qui s'étendent entre le grand lac Salé et la rivière Serpent ou le Lewis-fork de la Columbia.

Le Shasta Ronge, formant la limite entre la Californie et l'Orégon et qui occupe tout le pays compris entre les rivières Sacramento, Willamette et les caps Mendocino et Umpqua, a une direction qui coïncide précisément avec le système de la sierra de Mogoyon.

X. *Système des montagnes Rocheuses et de la sierra Madre.*

Les montagnes Rocheuses et la sierra Madre forment au centre du continent américain des espèces de bombements, suivant des lignes parallèles en quelque sorte symétriques, ou bien placées en imbrications. Souvent ces bombements sont brisés sur de longues lignes étroites, et alors les roches éruptives se sont frayés un passage, relevant et disloquant fortement les roches sédimentaires appartenant aux terrains carbonifères, triasiques et jurassiques.

La direction générale des chaînes est en moyenne du N. 15° O. au S. 15° E., et l'âge du soulèvement est de la fin de la période jurassique et avant le dépôt du terrain néocomien d'Amérique. Les assises du carbonifère et surtout du *mountain limestone* sont fortement brisées et relevées, parce qu'elles se trouvent en contact avec

les roches éruptives et métamorphiques; et j'ai rencontré le «calcaire de montagne» avec ses fossiles les plus caractéristiques, tels que : *productus semireticulatus*, *punctatus* et *flemingi*, *spirifer striatus*, etc., jusqu'à une hauteur de 4.000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Ayant fait une ascension d'un des pics les plus élevés des montagnes Rocheuses qui se trouvent dans le voisinage de Santa-Fé, dans le Nouveau-Mexique, et dont l'élévation est de 4.500 mètres, du sommet de ce pic et grâce à cette atmosphère si pure et si légère qui caractérise cette région, je découvrais un horizon ayant un rayon de 60 lieues et qui embrassait plusieurs chaînes des montagnes Rocheuses, telles que les sierras de Manzana, de Sandia, de Jemez, de Taos et de San Juan; une partie de la sierra Madre, des groupes d'anciens volcans éteints et deux sierras qui se dirigent du côté du rio Pecos. Je n'ai jamais vu, même du sommet des Alpes, des lignes de dislocations aussi tranchées et dont le parallélisme des lignes soit aussi visible et avec des contours plus nets et plus marqués.

Les écaillements et bombements formant ce système des deux groupes des montagnes Rocheuses et de la sierra Madre occupent une largeur qui varie de 50 à 70 lieues; les roches éruptives ne paraissent pas à chacun de ces brisements et ne dépassent du reste pas en largeur 4 ou 5 lieues, souvent même les granites et syénites n'apparaissent que sur une distance d'une demi-lieue, en coupant bien entendu les chaînes perpendiculairement à leur direction.

Comme dans toutes les grandes chaînes de montagnes, il y a dans les montagnes Rocheuses des lignes et accidents de dislocations antérieures et postérieures au soulèvement principal. Ainsi les monts Placeres au

sud de Santa-Fé, et les montagnes qui sont à l'est de San-Pedro ont une direction et des accidents de stratification qui indiquent une date antérieure à l'apparition de la sierra de Sandia qui est à côté.

L'insuffisance de mes observations sur ces vastes régions des montagnes Rocheuses et de la sierra Madre m'oblige à me borner à ces indications sommaires d'une partie des dislocations qui s'y trouvent. Premier pionnier de la géologie dans ces contrées désertes, je n'ai posé qu'un simple jalon.

XI. *Système du coast Ronge de Californie.*

Tout le long des côtes de l'océan Pacifique qui s'étendent depuis le cap St-Lucas, dans la Basse-Californie, jusqu'au cap Mendocino, comté de Humboldt (Haute-Californie), on observe des lignes de montagnes assez peu élevées, en général, de 150 à 400 mètres au-dessus du niveau de la mer, et qui sont connues sous le nom de «coast Ronge de Californie.» La direction de ce système de montagnes est à peu près du N.-N.-O. au S.-S.-E.

La partie de la côte où ce système est le plus distinct et facile à observer est depuis le Pueblo de los Angelos jusqu'à la baie de Humboldt et entre la mer et les rivières San Joachim et Sacramento. Dans les petits nombres d'observations rapides que j'ai pu faire, soit aux environs de los Angelos, de Santa-Barbara, de Monterey, de Santa-Clara, de San-Francisco et de Contra-Costa, il m'a paru que les dislocations et brisements ont eu lieu à la fin de l'époque tertiaire éocène, ainsi que semblent l'indiquer des couches de calcaires et d'argiles renfermant des fossiles caractéristiques de l'éocène et qui se trouvent fortement redressées, surtout au sud de la ville de Monterey et au Monte-Diablo, dans le comté de Contra-Costa.

La célèbre *Golden-Gate* ou Porte-d'Or de la baie de San-Francisco traverse ce système. Les roches qui le composent sont surtout d'origine métamorphique et éruptive, et elles contiennent de riches mines de mercure, d'argent, de cuivre et de fer; mais jusqu'à présent on n'y a pas trouvé d'or.

Plusieurs des chaînons du coast Ronge sont croisés et pénétrés par les dislocations qui ont suivi immédiatement après et qui ont donné naissance au système de la sierra Nevada. Ces croisements s'observent surtout près de la mission de San-Fernando et le Tajon-Pass, et aussi près des sources de la rivière Russe, dans le comté de Mendocino.

D'après une carte manuscrite et des renseignements de vive voix que m'a communiqués en avril 1854, le célèbre et infortuné comte Gaston de Raousset-Boulbon, je rapporte à ce système du coast Ronge les montagnes de la Sonora, comprises dans le pays des Indiens Papagos et la sierra d'Arisona. Là comme en Californie, on n'y trouve pas d'or, mais bien des mines très-riches d'argent, de cuivre, de plomb et de mercure; et c'est en cherchant à doter la France de ce nouveau Pérou que de Raousset a obtenu cette célébrité d'un nouveau Cortez mort dès le début dans sa carrière d'aventurier.

XII. *Système de la sierra Nevada.*

Nous comprenons dans ce système, non-seulement la chaîne de la sierra Nevada connue des géographes comme servant de limite orientale à la Californie, mais encore un groupe de huit à dix autres chaînes qui lui sont parallèles et qui s'étendent vers l'est jusque de l'autre côté du rio Colorado. En un mot, le groupe de montagnes formant ce système comprend tout le grand désert américain qui s'étend depuis près du grand lac

Salé et des établissements des Mormons jusque dans les plaines du Sacramento et de San-Bernardino, courant du nord au sud à travers 10 degrés de latitude.

Les lignes de dislocation allant du nord au sud, donnent ainsi un second système méridien dans l'Amérique du nord. Comme les roches qui composent toutes ces chaînes sont principalement cristallisées, éruptives ou métamorphiques, et qu'elles contiennent des veines de quartz aurifères, dirigées aussi du nord au sud et de la même époque que l'apparition des autres roches de ce système, on voit qu'il semble exister une relation entre le gisement de l'or et la direction méridienne des chaînes des montagnes, surtout si l'on veut bien se rappeler que les trois systèmes de montagnes où l'or est le plus commun, sont les systèmes méridiens de l'Oural, de la Sierra-Nevada et de la Cordillère australienne.

Les roches sédimentaires sont assez rares dans les montagnes de ce groupe. Ce sont surtout des poudingues et grès blancs et rouges, mal stratifiés, et des calcaires blancs. Les fossiles étant très-rares dans ces assises relevées et souvent fortement inclinées, il est difficile d'assigner une époque précise pour l'âge relatif du système de la Sierra-Nevada. Ce qu'il y a pour moi de certain, c'est que ce système est venu longtemps après la période éocène, et avant cependant l'époque quaternaire. Par conséquent ce serait, soit à la fin du miocène, soit après le pliocène. En cela je me trouverais d'accord avec sir Roderick I. Murchison, qui regarde, dans sa dernière et belle publication intitulée *Siluria*, les dépôts de sables aurifères de l'Oural et de l'Australie comme s'étant effectués à l'époque du drift quaternaire, ce qui donne pour âge géologique des filons de quartz aurifères la fin de l'époque tertiaire, ou au plutôt à la fin de la période du miocène.

La sierra de Batuco et les montagnes qui dessinent les bassins des rio de San-Miguel, rio de Sonora, rio de San-José et rio de Cruz, dans l'État de Sonora, appartiennent au système de la sierra Nevada. Leur direction est aussi nord-sud, et elles renferment dans leurs seins des veines de quartz aurifères identiques à celles de la Californie.

XIII. *Système de la Sierra de San-Francisco et du Mont-Taylor.*

On a, par le 35e degré de latitude, depuis le lac de la Soude (*Soda lake*), qui termine la rivière des Mohavies, près le Rio-Colorado de Californie, jusqu'aux sources des rivières Arkansas et Canadienne, une bande volcanique allant ainsi de l'ouest à l'est, et composée d'immenses volcans éteints, dont les deux principaux portent les noms de Montagne de San-Francisco et Mont-Taylor.

La hauteur de plusieurs de ces volcans est considérable; ainsi, le cône principal de la Sierra de San-Francisco atteint 5.000 mètres, et le Mont-Taylor dépasse 3.500 mètres. Tous ces volcans, dont les coulées et les cônes secondaires occupent une grande surface de pays, sont actuellement éteints et ne paraissent pas avoir été en activité pour plusieurs siècles passés.

Les coulées de laves recouvrent en plusieurs endroits, surtout dans la vallée du Rio-Grande-del-Norte, le drift de l'époque quaternaire et des alluvions de la même époque. Ce qui semble indiquer pour âge relatif de cette bande volcanique la fin de la période quaternaire.

Plus au nord, en suivant l'une des lignes de dislocation de la Sierra-Nevada, on a, allant du nord au sud,

suivant le méridien marqué le 122e degré à l'ouest de Greenwich, une ligne aussi volcanique, dont la plupart des volcans sont actuellement encore en état d'éruption, et dont l'activité se fait sentir presque sans interruption, surtout au mont Sainte-Hélène, près du fleuve Columbie, dans l'Orégon et au mont Baker, dans le territoire de Washington. L'âge de cette dernière ligne de volcans paraît être le même que pour la ligne de volcans éteints signalée précédemment; de sorte que l'on aurait un système volcanique rectangulaire, les deux directions se coupant à angles droits, et cependant du même âge géologique. Ce système me paraît devoir rentrer dans celui que M. Élie de Beaumont a signalé comme composé de trois bandes volcaniques, formant un seul système trirectangulaire.

Je n'ai pas encore trouvé avec certitude le système de dislocation qui a eu lieu à la fin de la période crétacée, et je suis très-disposé à adopter l'opinion de M. Élie de Beaumont, qui depuis très-longtemps a signalé dans les Alleghanys des accidents de redressements et de rupture qui appartiendraient à cette époque. Ces dislocations se trouvent principalement dans les États de la Caroline du Nord et de la Géorgie.

En terminant cette rapide et incomplète esquisse d'une classification des montagnes d'une partie de l'Amérique du Nord, je signalerai aux géologues les relations qui existent entre les différentes périodes ou groupes de terrains de l'Amérique, et les lignes de dislocations et de relèvements qui traversent ce grand pays. Là comme en Europe, les chaînes de montagnes sont en relations intimes avec chaque division de l'échelle chronologique des terrains stratifiés.

HISTOIRE ET DESCRIPTION

DES MINES ET FONDERIES DE PLOMB, ARGENT ET CUIVRE DE LA LOZÈRE.

Par M. LAN, ingénieur des mines.

(SUITE.) (1).

La *fig.* 10, Pl. II, donne le diagramme complet de tous les filons de Vialas (2). On y distingue trois directions principales :

Ensemble des filons de Vialas. Trois directions principales.

1° Celle des grands filons du *Nord* et du *Sud*, à peu près inexplorés jusqu'ici, mais sur lesquels paraissent s'embrancher tous les autres, sans qu'on puisse aujourd'hui rien dire de leur liaison mutuelle.

2° Celle des filons des *Anciens*, des *Avesnes*, de *Sainte-Barbe* et de la *Picadière*.

3° La direction, transversale aux précédentes, des filons du *Bosviel*, du *Bois-de-Petit*, *Lorrain*, etc.

Les accidents bien constatés sont de deux sortes :

1° Des croiseurs ou failles parallèles à la troisième direction ;

2° Des failles sensiblement parallèles à la première.

Accidents : croiseurs et failles.

Tous les faits que nous avons cherché à résumer dans cette figure ne sont pas encore également bien établis, et il importe à l'avenir de l'exploitation de les bien éclaircir.

(1) Voir la première partie, page 1 de ce volume.

Nous rappellerons que ce mémoire était écrit en mars 1855, et que les renseignements qu'il renferme se rapportent à l'état de Vialas en 1854.

(2) Nous avons tenté de grouper dans cette planche les circonstances les plus importantes de l'allure des filons et des veines minérales; quelque imparfait que soit cet essai, nous l'avons donné comme exemple de ce qu'on devrait toujours faire dans des exploitations de mines métalliques.

Insuffisance des recherches sur les points de croisement.

Ce que les travaux, tels qu'ils sont aujourd'hui, permettent de reconnaître, c'est le croisement des *Anciens* et des *Avesnes*, par les deux filons du *Bosviel* et du *Bois-de-Petit;* c'est encore l'arrêt et le rejet des veines de *Sainte-Barbe* et de la *Picadière* par les mises argileuses de l'*ouest*. Mais on remarquera dans l'exposé que nous avons présenté des travaux, qu'à part les recherches récentes des galeries *Parallèle*, *Rétrograde*, etc., jamais, après le croisement des veines entre elles, par des croiseurs ou par des failles, les études n'ont été suffisantes pour vérifier s'il y a rejet, et quels peuvent être le sens et l'étendue du dérangement. C'est ainsi que l'exploitation est limitée, sur les *Anciens*, entre le *Bosviel* et le *Bois-de-Petit*, et sur les *Avesnes*, par le *Bosviel* et des accidents parallèles. Les anciens travaux de la Picadière ne semblent avoir dépassé, à aucun étage, la grande mise argileuse parallèle à celle dite *Sainte-Barbe*.

L'insuffisance des recherches aux points de croisement se fait surtout sentir dans la partie Est des mines de Vialas. Sans rappeler la rencontre des Avesnes et Anciens par le Bosviel, nous citerons leur dérangement par des accidents parallèles à celui-ci. On retrouve, aux trois étages, les traces d'un croiseur et d'une ou plusieurs failles, sur les filons des Avesnes et des Anciens. Le croiseur, composé d'une roche analogue à celle de Bosviel, mais sans minerai, au moins dans les parties recoupées, arrêta anciennement les travaux du Colombert sur les Avesnes; aujourd'hui il limite les kasths *Villemereux* à l'*ouest;* au troisième plan, il a puissamment contribué aux hésitations de la galerie *Chapelle*, sans qu'on paraisse alors l'avoir reconnu.

A l'ouest de ce croiseur, on aperçoit encore les traces d'un dérangement parallèle au précédent, mais beaucoup moins net. Il apparaît au premier plan, à l'ouest du puits de la *Faille*, descend aux deuxième et troisième plans, aux environs des puits *Nadal*, et peut-être dans le prolongement S.-O. de la galerie de la Grand' Croix.

Plus à l'ouest encore, on voit quelques fentes ou *fausses inclinaisons* suivant les mineurs, mais pas de croiseur bien accusé: c'est pourquoi, sur la Pl. II, nous n'avons pas tracé cet accident.

Le filon des *Anciens* est certainement coupé et dérangé par les deux premières lignes d'accidents; c'est entre leurs prolongements N.-E. que nous semble placé le brouillage où se sont arrêtés les anciens travaux du premier plan, retrouvé par la galerie Solberge au deuxième, et dont on s'est déjà approché au troisième. Ce brouillage est à peu près exactement sous la verticale du point O., et les indices des affleurements, aux environs de ce point, sont d'accord avec notre opinion.

Une dernière observation à ce sujet, c'est qu'à l'ouest du croiseur et des failles, les Anciens comme les Avesnes éprouvent un changement notable dans leur allure et dans leur richesse; ils deviennent à peu près verticaux et bien moins réguliers dans la région voisine du percement du Colombert.

Voyons maintenant les caractères propres aux divers filons:

Filons des Avesnes, de Sainte-Barbe et de la Picardière.

Les veines minérales connues sous les noms de filons de la *Picadière*, de *Sainte-Barbe*, des *Avesnes*, font très-probablement partie d'un seul filon, fréquemment ramifié, d'une puissance par conséquent assez variable et qui nulle part ne paraît nettement séparé des micaschistes encaissants. Cet ensemble est aujourd'hui reconnu depuis le ravin de la *Picadière* jusqu'au *Bosviel;* il est probable toutefois que dans la région Est de *Sainte-*

Barbe, on ne connaît pas toutes les veines qui s'y rapportent.

A l'exception de la partie située aux environs du percement du Colombert, cet ensemble a été riche en minerai et déjà très-avantageusement exploité sur une certaine hauteur. Nous avons représenté Pl. II, *fig.* 2, l'allure du minerai ; comme complément, nous donnerons les teneurs en argent d'échantillons pris dans les parties ci-dessous indiquées :

Richesse en argent aux différents niveaux.

NOMS DES GALERIES.	Grammes d'argent par quintal de plomb d'œuvre.	NOMS DES GALERIES.	Grammes d'argent par quintal de plomb d'œuvre.
Galerie des Avesnes.	452 467 260 470 400 451 541	Galeries Bertrand et Kasths parallèles.	360 335 489 574 571 442
Galerie des Trois-Postes. . .	249 433 465	Galeries Rétrogrades et Bloc.	508 306 255 507 416 260 267 250 484
Galerie Sainte-Barbe. . . .	462 384 387		

1er *Plan*. Moyenne, 405 grammes.

Galerie Villemereux. 2e Plan.	*Galerie Solberge* (*fond du puits*). 2e Plan.
600 468 318 426 gr.	314 419 492 gr.
Moyenne, 506 grammes.	
Au 3e plan, nous n'avons pu essayer que peu d'échantillons, et la moyenne atteindrait près de 400 grammes.	

La galène est le plus souvent disséminée dans la gangue : c'est un caractère commun d'ailleurs à tous les filons et que nous indiquons une fois pour toutes. Quant à la gangue, elle est presque toujours quartzo-

schisteuse, excepté aux extrémités Est et Ouest, où la baryte était assez abondante : le carbonate de chaux s'y trouve assez souvent cristallisé (1).

Filon de l'Espérance.

Le filon de l'Espérance n'a été jusqu'ici reconnu exploitable sur aucun point de sa longueur. D'une puissance assez variable, rarement au-dessus de $0^m,80$ à 1 mètre, il se compose de quartz, de sulfate de baryte avec géodes de carbonate de chaux cristallisé ; on n'y a trouvé que de faibles traces de galène, dans la région Ouest. Bien encaissé, il ne présente nulle part de salebandes caractérisées : il plonge au sud sur un angle de 75 à 80° avec l'horizon. Ce filon, mal étudié, paraît se ramifier souvent.

Filon des Anciens.

Le filon des Anciens, d'une puissance moyenne de $1^m,50$ à 2 mètres, est un des mieux caractérisés : vertical ou plongeant légèrement au sud, il se compose de quartz et sulfate de baryte, la première gangue étant, en général, un indice de richesse. La galène s'y est montrée abondante, surtout dans la partie Est (*voyez* Pl. II). Comme pour les Avesnes, voici les teneurs en argent :

Richesse en argent.

Galerie des Anciens. 1er Plan.	*Galerie Solberge.* 2e Plan.
1.066 366 393 425 252 267 gr.	150 219 1.000 293 gr.
Moyenne, 465 grammes.	Moyenne, 415 grammes.
Au 3e plan, nous n'avons pu nous procurer d'échantillons.	

Filon de Bosviel.

Le filon du Bosviel, incliné au sud-est, avec une plongée de 75° environ, a une puissance moyenne de 1 mètre à $1^m,50$; partout où il a été atteint, il est bien détaché

(1) La baryte sulfatée se présente fréquemment en cristaux d'un bleu verdâtre et quelques-uns de ces échantillons tiennent une proportion de *sulfate de strontiane* qui peut s'élever à 5 ou 6 p. 100.

des roches encaissantes et fréquemment accompagné de salebandes. On y a trouvé en plusieurs points deux veines minérales, rarement riches toutes les deux à la fois; elles ont paru se réunir au *sud-ouest*: la *fig.* 1, Pl. II, semble indiquer aussi un enrichissement des veines minérales dans ce sens. Le minerai, généralement plus pyriteux et blendeux que celui des autres filons, avait une teneur en argent dont le tableau suivant donnera une idée:

Kasths Villemereux. 1er Plan.	*Galerie Villemereux.* 2e Plan.	*Galerie Chapelle.* 3e Plan.
661 336 209 gr.	363 379 gr.	176 280 232 gr.
Moyenne, 402 grammes.	Moyenne, 370 grammes.	Moyenne, 229 grammes.

Filon du Bois-de-Petit.

Le filon du Bois-de-Petit, parallèle au Bosviel et plongeant comme lui, a une puissance variable de $0^m,50$ à 1 mètre, rarement $1^m,50$. Composé comme le Bosviel, il est aussi très-bien encaissé, et quoique sans salebandes, il est bien détaché de l'encaissement. Nous n'avons pu figurer sur ce filon que le massif des kasths de l'Espérance, car il n'a pas été exploré en dehors de ces ateliers qu'on supposait appartenir au filon de l'Espérance.

La teneur en argent serait en moyenne de 422 gr. au premier plan (voyez *fig.* 4, Pl. XII).

Observations comparatives sur les divers filons de Vialas.

Des plans figuratifs que nous avons faits de chaque filon et du résumé qui précède on peut tirer les conséquences suivantes:

1° Ici, comme en beaucoup d'autres mines métalliques, le minerai paraît se concentrer vers les points de croisement des filons. Les veines minérales ne présentent pas d'interruptions brusques; mais, dans un filon déterminé, elles semblent quelquefois suivre une

certaine orientation. C'est sous ce rapport qu'une carte-plan de chaque filon, où seraient exactement retracés les massifs exploités, serait utile à l'exploitation et éviterait peut-être bien des travaux stériles.

2° La richesse en galène ne paraît pas avoir diminué en profondeur; au moins rien ne le prouve aujourd'hui.

3° La teneur en argent des divers filons n'éprouve pas jusqu'ici de grandes variations suivant la profondeur; sur le Bosviel seul, nos essais constatent une diminution sensible; tout en remarquant qu'il faudrait peut-être des essais plus nombreux pour conclure sûrement, nous ajouterons que l'on a constaté un autre changement dans ce filon: vers le sud-ouest, dans les plans inférieurs, il devenait notablement plus riche en blende.

4° Les filons du *Bosviel*, du *Bois-de-Petit*, déjà comparés pour leurs directions, se rapprochent encore beaucoup par leurs autres caractères, et coupent certainement les *Avesnes*, les *Anciens*, etc., si différents d'ailleurs par leur direction.

Nous rappelons ce dernier fait, et nous ajouterons quelques mots pour compléter ce que nous avons dit dans notre premier mémoire sur la formation des filons de Vialas.

Un seul système de filons.

Dans les idées généralement admises, la coupure d'un filon par un autre implique la différence d'âge des deux gîtes; sous ce rapport, les rencontres de filons dont nous venons de parler seraient contradictoires avec la classification que nous avons faite des filons de Vialas en un seul système. Mais sans nous attacher à une discussion trop éloignée de notre but, nous observerons que les filons de Vialas ne sortent pas de l'espace compris entre les deux bandes du nord et du sud; qu'ils ne sont donc vraisemblablement que le résultat de fis-

sures secondaires, produites dans les micaschistes par suite de l'ouverture de ces deux énormes crevasses. Il n'est pas besoin de recourir à l'idée de systèmes différents pour comprendre que, pendant le temps nécessairement assez long qu'a exigé le rétablissement de l'équilibre, après une pareille dislocation, les fissures secondaires ont pu se produire à de certains intervalles et se déranger mutuellement. Il faudrait d'ailleurs, pour motiver la classification en systèmes différents, trouver, outre les coupures de filons les uns par les autres, des changements de composition que l'on n'observe pas à Vialas.

Tout en maintenant donc le groupement qui a été présenté dans notre premier mémoire, nous ferons encore une observation au point de vue pratique de l'exploitation de Vialas. Jusqu'ici on s'est peut-être un peu trop attaché à l'idée des *ramifications de filons*. Quand, par exemple, en suivant un filon bien caractérisé comme les *Anciens*, on arrivait sur le *Bois-de-Petit*, on continuait sur cette *ramification* sans songer à rechercher les *Anciens*, peut-être rejetés de très-peu au delà. C'est là, sans contredit, l'une des causes pour lesquelles les croisements de veines sont encore, à l'heure qu'il est, si confus et si peu étudiés.

Principales circonstances de l'exploitation des mines de Vialas.

La position des filons de Vialas sur les flancs de ravins profonds et au-dessus de l'étroite vallée de *Luech*, a permis jusqu'aujourd'hui d'aménager très-commodément ces gîtes. Le quatrième plan, poussé du *Martinet* jusque sous les exploitations actuelles, laisse à la compagnie de Vialas un long espace de temps encore avant qu'elle soit obligée de recourir à des puits pour atteindre et exploiter ses mines. Dans cette exploitation, l'extraction, l'épuisement, l'aérage se font donc

très-simplement et à très-peu de frais. Qu'on joigne à cela les circonstances d'un boisage peu dispendieux, d'une main-d'œuvre peu élevée, et l'on aura une idée des conditions si favorables où se trouvent placées les mines de Vialas.

Le mode d'exploitation adopté est suffisamment indiqué dans la description que nous avons donnée des travaux, c'est la méthode classique des exploitations de filons : nous ajouterons qu'aux environs du puits du *Bloc* seulement, on a dû, dans ces dernières années, pratiquer un abatage en travers, tant était grande, sur ce point, la puissance en minerai. Les nombreuses bifurcations de veines rendent insuffisantes les galeries de direction, et il serait, sur plus d'un point des mines de Vialas, très-important de pratiquer des traverses d'exploration.

Pour terminer ce qui est relatif à ces mines, nous donnerons le personnel attaché à leur exploitation et quelques renseignements sur les conditions d'exécution des diverses sortes d'ouvrages pendant ces dernières années.

Personnel des mines.

En décembre 1853, les chantiers d'exploitation étaient :

1° Les kasths *Solberge*, occupant.	9	ouvriers mineurs.
2° Les kasths *Villemereux* occupant. . .	19	—
3° Les kasths *Mazoyer* occupant.	11	—
4° Les kasths du *Puits-de-l'Ane* occupant	42	—
5° Travaux anciens. Glanage *du Bloc*. . .	5	—
Total.	86	mineurs à l'abatage du minerai.

Il y en avait en outre quelques autres en travaux d'avancement, comme par exemple à la traverse du fond du puits *Nadal*, au troisième étage des *Avesnes*.

En moyenne, on peut estimer que les travaux ont, de 1848 à 1853, occupé annuellement 80 à 90 mineurs

à l'abatage, soit 100 pendant quatre mois d'hiver, 60 à 80 pendant le reste de l'année.

A ce personnel en mineurs s'ajoutent 15 à 20 trieurs de minerais à l'abatage même, 3 ou 4 boiseurs à l'année, 6 rouleurs pour le transport intérieur.

La surveillance est exercée par trois maîtres mineurs sous la direction d'un grand maître mineur. Enfin un ingénieur, attaché à l'établissement de Vialas, est à la fois chargé de la mine, des ateliers de préparation et de la fonderie.

Conditions d'exécution des divers ouvrages intérieurs : exemples.

On ne travaille que le jour, excepté sur certains points où l'avancement est pressé. On pourrait cependant, même avec les mines préparées comme elles le sont aujourd'hui, y placer un plus grand nombre de mineurs; mais on est, à Vialas, limité par la capacité de l'usine.

L'abatage se fait à la poudre et rarement au pic seul : ce travail n'offre d'ailleurs aucune particularité. Les débris abattus sont immédiatement triés sur place par de jeunes ouvriers attachés aux mineurs et chargés de jeter aux rolles le minerai divisé en deux classes : gros et menu. La seule observation à faire ici, c'est que la teneur élevée des minerais en argent réclamerait peut-être un peu plus de soins des ouvriers contre les pertes en poussières dans les interstices des remblais.

Les mineurs sont ordinairement payés au mètre d'avancement, les frais d'huile, poudre, entretien des outils étant laissés à leur charge. Comme moyenne de la journée du mineur à Vialas, on peut admettre 2 francs à 2f,25 : au moins est-ce là le chiffre qui guide la direction dans les évaluations approchées. Quelques mineurs à la journée reçoivent 1f,80 ou 1f,85.

Les trieurs, enfants déjà forts, gagnent 1 fr. par jour.

Les boiseurs sont à la journée : ils reçoivent de 1f,85 à 2f,15. Ce sont des ouvriers de la même classe qui posent les voies ferrées de l'intérieur. Le bois d'étançonnage coûte 2 francs le quintal métrique.

Voici quelques exemples d'exécution des principaux ouvrages :

1° *Foncement du puits Nadal* (du 3e au 4e plan).

Deux postes de 3 ouvriers par 24 heures.

4 mètres d'avancement par mois sur une largeur de 1m,50 et une longueur de 3 mètres (section rectangulaire.

Prix fait, 110 francs le mètre d'avancement.

Les ouvriers reçoivent de la compagnie l'huile et la poudre, et leurs outils sont réparés et entretenus, à la forge de l'usine, dans les conditions suivantes :

		fr.
Poudre.	Le kilogramme ou les 14 cartouches. . .	3,00
Huile.	Par mois de travail.	3,00
Outils.	L'aciérage d'un fleuret.	0,10
—	Confection d'un fleuret neuf.	0,10
—	Soudage de deux bouts de fleuret.	0,05
—	Réparation d'une pointe ou tête de fleuret.	0,01
—	— pointe de pic.	0,02

Aux prix actuels des fers et aciers rendus à l'usine, on estime que l'usure et l'entretien des outils peuvent atteindre par jour et par ouvrier le chiffre de 0f,10 à 0f,15.

2° *Avancement de la galerie Villemereux* (2e étage).

Deux postes de 2 hommes par 24 heures.

Avancement de 1m,50 par quinzaine sur 1m,50 de large et 2,40 de haut.

Prix fait, 65 francs par mètre, avec les mêmes charges que précédemment.

Avancement Sainte-Barbe, partie est.

Un poste de 12 heures et de 2 hommes.

Avancement de 2 mètres par mois sur les mêmes dimensions.

Prix fait, 70 francs.

4° *Traverse à l'extrémité de la galerie Sainte-Barbe.*

Rocher de *montagne* moins dur que la roche de filon.

Prix fait, 48 francs.

Sur les mêmes dimensions l'avancement était de près de moitié plus rapide.

Pour tous les travaux qui précèdent les mineurs à prix fait étaient non-seulement chargés de l'abatage et du triage, mais aussi du roulage hors de la mine.

5° *Abatage sur les gradins.*

Un seul poste de 2 ouvriers réunis en société sur chaque gradin, recevant de 5 à 20 francs par mètre d'avancement pour une hauteur constante de 1 mètre et une largeur égale à celle du filon, mais qui ne peut être inférieure à $1^{m},50$. Quand la largeur du gradin dépasse 2 mètres, et seulement dans ce cas, on augmente le prix fait en raison de l'élargissement. Outre l'abatage, le poste de chaque gradin fait les frais de triage, les trieurs dont nous avons parlé étant toujours sous leurs ordres. Enfin les mineurs en gradins doivent remblayer, au fur et à mesure de l'avancement, avec les débris stériles.

Roulage intérieur.

Roulage intérieur (*sur chemins de fer partout*). — Ce travail s'exécute toujours à prix fait, variable avec les distances des divers chantiers au jour. Les wagons sont à quatre roues, à essieux indépendants, etc., renfermant en moyenne 5 à 600 kilogrammes. Le mètre courant de chemin de fer intérieur coûte de 5 à 6 francs. Pour les minerais amenés du *puits de l'Ane*, le point le plus éloigné de la place de triage au jour, on paye aux rouleurs $0^{f},25$ à $0^{f},30$, et pour les minerais amenés des *kasths Villemereux* ou *Solberge*, $0^{f},15$ par wagon.

On estime que chaque rouleur peut, en moyenne, faire, par 12 heures, 6 voyages du puits de l'Ane et 10 des kasths Villemereux.

L'aérage, l'épuisement se font, comme nous l'avons déjà dit, naturellement et sans frais; ce n'est que dans les foncements de puits ou avancements de galeries qu'on peut quelquefois avoir besoin de treuils à bras, de ventilateurs ou de gaînes d'aérage.

Nous donnerons la production des mines de Vialas quand nous aurons parcouru les ateliers de préparation.

§ III. *Ateliers de préparation mécanique.*

Atelier de triage à la sortie des mines.

Le triage préparatoire qu'a subi le minerai dans l'intérieur l'a divisé en *gros* et *menu;* mais avant de l'envoyer aux ateliers de l'usine, on fait à la sortie même des mines un triage plus soigné.

1° *Gros.* — Des femmes ou des enfants un peu forts le cassent à la masse, le trient à la main et en font trois classes :

A. Minerai de criblerie } envoyés séparément aux
B. Minerai de bocard } ateliers.
C. Stérile. . . . . } reste sur les haldes.

2° *Menu.* — Des enfants soumettent cette classe de minerais à un débourbage encore suivi d'un triage à la main : ils creusent dans le sol une petite aire concave où ils font arriver l'eau sortant de la mine; tout autour de cette mare ils étendent le menu en couche peu épaisse, l'arrosent en y jetant l'eau de la mare au moyen de petites pelles creuses en bois. Les eaux enlèvent les boues qui salissent le minerai, vont déposer le peu de poussière qu'elles entraînent dans de petits bassins de $0^{m},50$ à 1 mètre de profondeur, puis s'écoulent à la rivière. Le minerai ainsi nettoyé est trié avec un petit râteau qui en enlève les gros fragments qui pourraient y rester : l'ouvrier sépare ensuite le stérile dont il fait un tas spécial qu'il ne jette aux haldes qu'après

examen du surveillant. Après l'enlèvement des *lauzes* ou parties schisteuses stériles, on arrose de nouveau; ce qui reste sur le tas est alors divisé en minerai *de criblerie* et minerai *de bocard*. En définitive, les produits du débourbage et de la classification du menu sont donc:

A. Minerai de criblerie	Envoyés séparément aux ateliers.
B. Minerai de bocard.	
C. Stérile.	reste sur les haldes.
D. Bourbes et poussières	envoyés au bocard à eau.

L'atelier de triage et débourbage, placé à la sortie du Bosviel, 2e plan, est desservi par le personnel suivant:

Personnel du triage. Prix des journées de trieurs.

Un surveillant à 2 francs par jour, occupé 280 jours environ par an.

20 à 25 trieurs ou trieuses sur lesquels il y a 5 ou 6 casseurs. Les premiers sont payés à raison de $0^f,20$ par char de 5 à 600 kilogrammes venant de la mine: les bons trieurs peuvent élaborer 4 à 5 chars dans une journée de 12 heures; les plus faibles, 3 à 4. Quant aux casseurs, ils peuvent, entre cinq, préparer 5 à 6 chars de 5 ou 600 kilogrammes et reçoivent $0^f,20$ par char, ce qui porte leur journée moyenne à 1 franc ou $1^f,25$.

Il y a de plus, dans cet atelier, quelques enfants pour disposer les minerais sous les hangars, le long du chemin de fer; enfin 3 ouvriers sont occupés au roulage extérieur.

Transports extérieurs des mines à l'usine.

Le transport des produits de cet atelier à l'usine se fait, pour les minerais de bocard, dans des wagons de 800 kilogrammes, sur un chemin de fer suivant la pente de la montagne jusqu'à une estacade placée près de la fonderie; pour les minerais de criblerie, dans un tombereau traîné par un cheval. Le roulage en wagons, du Bosviel à l'estacade, est payé $0^f,20$ par wagon. Quant aux frais de transport du minerai de criblerie, ils peuvent s'élever à $0^f,20$ ou $0^f,25$ par tonne de criblerie amenée à l'usine.

Ateliers de préparation mécanique placés près de l'usine. Dispositions générales.

Les ateliers de préparation mécanique, comme la fonderie de Vialas, sont installés au confluent du *Luech* et du *ruisseau de la Picadière*, à une distance de 7 à 800 mètres de la sortie des minerais (Pl. I). C'est sur une voûte jetée au-dessus du ruisseau de la Picadière que sont établis les labyrinthes et autres accessoires des ateliers. A droite du ruisseau est la fonderie avec ses dépendances et un seul atelier de bocards à eau; à gauche, sont aujourd'hui trois autres ateliers de bocards à eau, celui de criblerie, les magasins et les maisons de direction ou d'employés.

C'est là qu'on avait, dès l'ouverture des mines en 1781, établi d'abord un bocard à eau avec tables dormantes et schlammgraben. Le bocard n'eut d'abord que 6 pilons; en 1786 on le porta à 9. Jusqu'en 1804 ou 1805, on pilait le minerai riche ou massif à la main; ce n'est que vers cette époque qu'on installa la criblerie. En 1821, les ateliers comprenaient:

1° Un bocard à eau de 9 pilons

2° Une première laverie, de 3 ou 4 schlammgraben et de 16 tables jumelles;

3° Une seconde de 18 tables jumelles;

4° Une criblerie composée d'une batterie de 4 pilons à sec, de tamis et cribles à la cuve.

En 1828, on transféra la fonderie de Villefort à Vialas, en même temps les ateliers de préparation s'augmentèrent d'un bocard à eau.

En 1838 et 1839, les tables dormantes ou jumelles furent remplacées par des tables à secousses; le schlamgraben ne fut conservé que pour le lavage de certains produits de criblerie. Le système de construction des bocards à eau fut changé, et de cette époque jusqu'en 1850, les ateliers restèrent composés de deux bocards à eau, avec tables à secousses en nombre suffisant pour

le lavage de leurs broyées et de l'atelier de criblerie dont l'installation première n'avait subi que des modifications fort peu importantes.

Enfin, en 1850 et en 1854, deux nouveaux ateliers de bocards à eau et de tables à secousses furent ajoutés aux anciens, mais sans changements notables dans la construction des appareils.

Les ateliers se sont donc, surtout dans les dernières périodes de l'exploitation, considérablement accumulés dans l'espace si restreint dont on pouvait disposer. Ces circonstances ont produit une certaine irrégularité de disposition, l'isolement des ateliers, et par conséquent des difficultés de surveillance inévitables.

Aujourd'hui, en parcourant ces ateliers de haut en bas, nous trouvons :

1° Une criblerie, comprenant : un bocard à sec de 4 pilons; une grille de classification; des tamis à la cuve et à la main; des bassins de dépôt inférieurs; une caisse allemande ou schlammgraben.

2° Les bocards à eau et laveries dépendantes nos 1, 2, 3, 4, tous semblables ou peu différents; dans chaque atelier il y a, à la suite du bocard et des tables à secousses, des labyrinthes et caisses de dépôt.

Distribution des eaux motrices.

Les appareils de la préparation, et même quelques autres dans la fonderie, sont mis en mouvement par des roues hydrauliques. L'eau motrice nécessaire est prise au Luech, à 1.200 mètres environ en amont de l'usine, avec une chute totale de 18 à 20 mètres; le canal d'amenée a 1m,20 de large et 0m,70 à 0m,80 de profondeur. Il nous a paru possible d'élever un peu la digue en amont de la rivière, de manière à augmenter la chute : peut-être aussi pourrait-on élargir le canal et faire arriver plus d'eau aux moments de l'année où elle est assez abondante.

Le défaut de force motrice est, en été surtout, une cause de chômages fréquents : limité sous ce rapport, on doit, à Vialas, viser à la production la plus grande possible au moment des fortes eaux; c'est ce qui explique le nombre assez considérable d'appareils : il est certain qu'avec un travail continu la production actuelle de Vialas n'en réclamerait pas autant. Resterait à examiner si, au lieu de multiplier ainsi les appareils de préparation on n'eût pas trouvé avantage à établir une machine à vapeur qui suppléât aux moteurs hydrauliques pendant certains moments de l'année.

Jusqu'en 1854, le nouvel atelier (n° 4) n'ayant pas encore fonctionné, l'eau motrice était répartie ainsi qu'il suit :

1° *Au premier étage* de la chute, elle se partageait entre trois roues à augets :

La première, de 3 à 4 mètres de diamètre et 0m,80 de largeur à la couronne, servant de moteur au bocard à sec de la criblerie et à son classificateur.

La seconde et la troisième, de 3 à 4 mètres de diamètre et de même largeur que la précédente, desservant les 6 tables à secousses comprises dans les laveries nos 1 et 3.

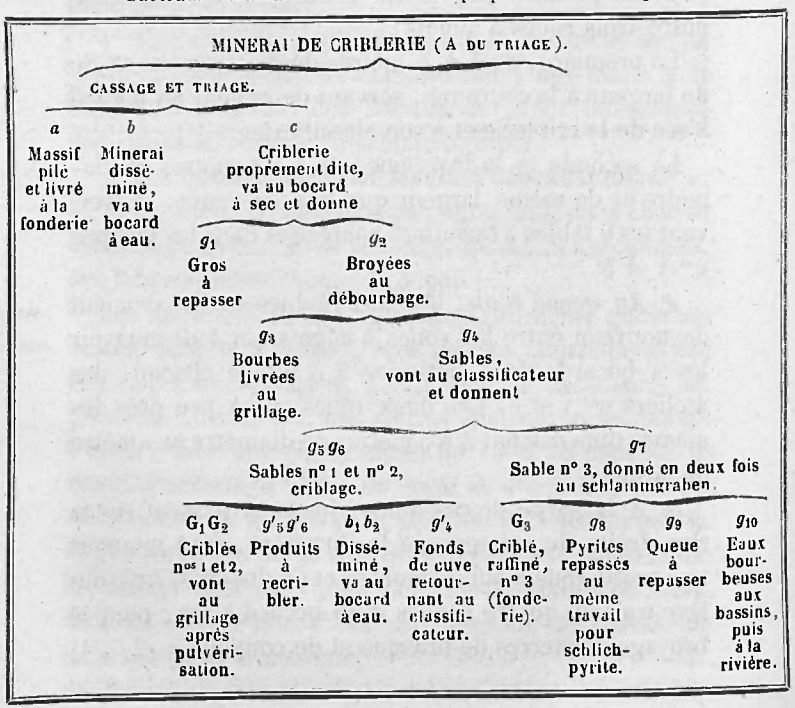
2° *Au second étage*, les eaux réunies se distribuaient de nouveau entre les roues à augets qui font mouvoir les 2 bocards de 4 batteries à 4 pilons chacun, des ateliers nos 1 et 3. Ces deux roues ont à peu près les mêmes dimensions : 4 à 5 mètres de diamètre et 1 mètre de large.

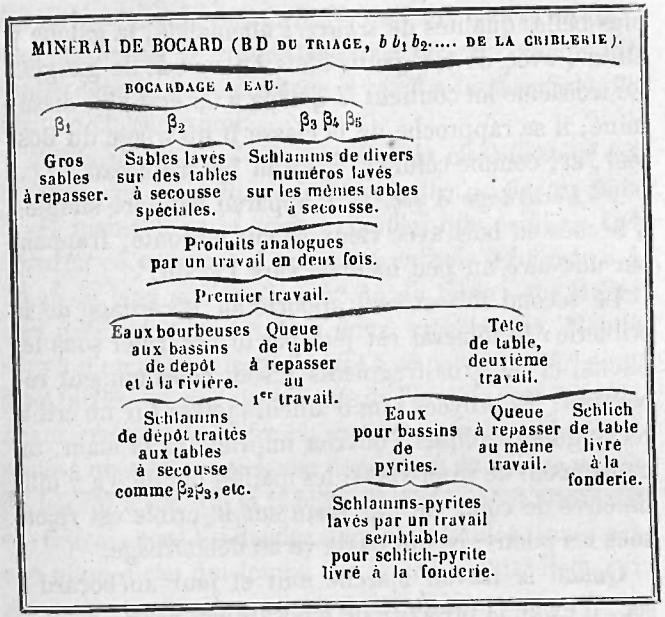
3° A la sortie de ces roues, les eaux passent sur la rive droite du ruisseau de la Picadière, font mouvoir une petite roue à aubes courbes et en dessous, qui soulève trois ou quatre flèches d'un bocard à sec, pour le broyage des terres de brasque et de coupelle.

4° Enfin, en se rendant à la rivière du Luech, les eaux font encore tourner deux roues à augets, dont la première, de 5 mètres de diamètre et $0^m,80$ à 1 mètre de large, dessert l'atelier de bocard n° 2, de 3 batteries à 5 flèches; et la seconde, de 3 mètres de diamètre et 0,80 de large, avait été construite pour la soufflerie. Le bief d'aval de la dernière roue est au niveau du Luech.

Voyons maintenant l'ensemble de la préparation mécanique de Vialas et le travail des divers appareils. Le minerai est rapporté à deux classes dans le triage dont nous avons parlé : ces deux classes, amenées à l'usine, sont traitées séparément par une série d'opérations dont le résumé est présenté dans les tableaux suivants :

Tableaux résumant l'ensemble de la préparation mécanique.





Les opérations de la criblerie sont donc :

Ateliers de criblerie. Ensemble des opérations qu'on y exécute.

1° *Le cassage à la main, avec triage;*
2° *Le bocardage à sec;*
3° *Le débourbage des broyées;*
4° *La classification des broyées;*
5° *Le criblage des grains classés;*
6° *Le raffinage au caisson allemand.*

1° *Cassage à la main.* — Ce travail se fait par un seul ouvrier armé d'un marteau de 1 à 2 kilogrammes, porté par un manche de $0^m,60$ à $0^m,70$ de long. Cet homme fait trois lots des fragments réduits à la grosseur d'un œuf au moins : le premier lot comprend du minerai où la galène ne paraît mélangée qu'à des quantités insignifiantes de gangue; c'est le *massif* pour *fin sec.* Le second lot comprend des fragments qui rappellent les

plus belles qualités de *schurerz* allemands; la galène y alterne avec de très-petits filets ou nœuds de gangue. Le troisième lot contient la galène à un état plus disséminé; il se rapproche de la classe B du triage du Bosviel, et, comme celui-ci, il va au bocard à eau.

2° *Bocardage à sec.* — L'appareil est fort simple : 4 flèches en bois avec vieux sabots en fonte, frappant sur une aire un peu inclinée vers l'avant.

Le second lot est seul apporté au bocardage de la criblerie : le minerai est jeté par le bocardier sous les pilons, et les gros fragments y sont constamment repoussés; les broyées sont d'ailleurs jetées sur un crible rectangulaire auquel l'ouvrier imprime, à la main, un mouvement de va-et-vient; les mailles ont de 6 à 7 millimètres de côté. Ce qui reste sur le crible est rejeté sous les pilons; ce qui passe va au débourbage.

Production du bocard à sec.

Quand le travail marche nuit et jour au bocard à sec, il exige la présence de 2 bocardiers par 24 heures. Le maximum qu'on puisse passer pendant ce temps ne paraît pas supérieur à 2 tonnes ou 2 tonnes 1/4.

3° *Débourbage.* — Cette opération s'effectue dans un petit canal à fond incliné de $0^m,50$ à 1 mètre de long sur $0^m,30$ à $0^m,40$ de profondeur. L'ouvrier y jette à la pelle les broyées tamisées en les agitant continuellement sous un courant d'eau; il ne vide ce bassin que quand il est rempli aux deux tiers. Les eaux bourbeuses, qui s'échappent par un conduit voisin de la surface du bassin, descendent à l'étage inférieur; avant d'aller à la rivière, elles déposent les boues entraînées dans quatre caisses, dont les deux premières ont de 2 à 3 mètres de long, 1 mètre de large, $0^m,60$ de profondeur, et les deux autres 6 mètres de long, 2 mètres de large et la même profondeur. C'est là que se déposent les *bourbes* g_3 ordinairement livrées au grillage.

De là les eaux de débourbage vont à la rivière en passant encore par de grands bassins extérieurs. Quant aux sables débourbés restés dans le canal à fond incliné, ils vont au classificateur.

4° *Classification.* — En principe le classificateur est le même que celui dit *séparations-rätter* du *hartz*, mais il est moins long et moins complet que celui-ci. Cet appareil se compose d'un cadre en bois de 1 mètre à $1^m,20$ de long sur $0^m,40$ à $0^m,50$ de large, sur lequel sont fixées trois grilles dont deux superposées. Mobile autour d'un axe horizontal placé à sa partie postérieure, il est incliné de quelques degrés de l'arrière vers l'avant; son extrémité antérieure est soutenue par une tige en fer reliée à un système de levier dépendant de l'arbre même du bocard à sec. De là résulte un mouvement alternatif et vertical, sous l'influence duquel les sables, lavés par une pluie d'eau qui tombe sur le crible, circulent sur les grilles et s'y classent par ordre de grosseur.

Les grilles superposées sont en fil de fer ou de laiton, celle du dessus du n° 10 et celle du dessous du n° 25 : d'après cela, les grains qui ne traversent ni l'une ni l'autre ont de $0^m,0025$ à $0^m,006$ de diamètre; c'est le *criblé n° 1 brut* g_5.

Les grains qui passent à travers les mailles supérieures et s'arrêtent aux inférieures, ont de $0^m,002$ à $0^m,00075$ de diamètre et donnent le *criblé n° 2 brut* g_6.

Les grains *n°* 3, qui ont moins de 3/4 de millimètre, tombent dans une case spéciale d'où part un canal qui les amène à l'étage inférieur, dans un petit labyrinthe particulier, à côté de celui des bourbes. Chacun des trois numéros de sables ainsi obtenus est traité séparément : les deux premiers par criblage, et le dernier au caisson allemand. Un seul ouvrier, travaillant 12 heures par jour, suffit très-bien pour le débourbage et le clas-

sement des matières broyées par le bocard à sec en 24 heures.

5° *Criblage.* — Les cribles dont on se sert pour le lavage des nos 1 et 2 sont circulaires, en bois, cerclés de fer ; ils ont $0^m,40$ de diamètre et $0^m,12$ de profondeur. Pour le *criblé n°* 1, la toile en fil de fer formant le fond du crible a une ouverture de maille de $0^m,003$ environ ; pour le *n°* 2, $0^m,00075$.

L'ouvrier remplit le crible à moitié de sable brut ; le tenant par deux poignées en bois, il le plonge dans une cuve pleine d'eau de 1 mètre de diamètre, où il lui communique un double mouvement, tantôt giratoire, tantôt vertical. A l'aide d'une petite râclette, il enlève alors trois couches assez distinctes : la première (supérieure) est pauvre en galène, elle est mise de côté pour le bocard à eau ; la seconde (moyenne) est un produit à repasser ; la troisième (inférieure) est du minerai très-riche, comparable au massif pour fin sec, avec lequel il est d'ailleurs mélangé et pulvérisé ultérieurement, avant d'être envoyé au grillage.

Dans la cuve où s'agite le tamis il se dépose des grains fins, passés à travers la maille du crible ou par-dessus ses bords. Ces fonds de cuve doivent retourner au classificateur.

Un cribleur, travaillant 12 heures par jour, suffit au lavage des produits de 24 heures de marche du bocard à sec.

6° *Raffinage au caisson allemand.* — Le labyrinthe particulier où se dépose le sable n° 3, se compose de six ou huit bassins carrés de 1 mètre de côté. Les sables retirés de ces réservoirs ne diffèrent guère, sous le rapport soit de la richesse, soit de la grosseur des grains ; aussi le travail du schlammgraben ne change pas sensiblement de l'un à l'autre de ces produits.

La caisse allemande de Vialas a $2^m,60$ de longueur, $0^m,50$ de large, $0^m,40$ à $0^m,45$ de profondeur ; l'inclinaison est de $0^m,10$ à $0^m,11$ par mètre ; la tête est formée de deux compartiments superposés : l'un, inférieur, a $0^m,25$ de long, et l'eau en sort en déversoir sur le minerai répandu dans la caisse du haut du compartiment supérieur.

Le travail n'offre aucune particularité ; il se fait comme partout, en deux reprises, dont voici les produits :

Première fois :

($0^m,50$) *Sable de tête*, mis en tas pour être ultérieurement raffiné ;

($0^m,20$) *Partie intermédiaire*, considérée comme matière première du même travail ;

Sable de queue, pauvre, destiné au bocard à eau ;

Eaux bourbeuses, qui se rendent à la rivière.

Deuxième fois (*travail du raffinage*) :

($0^m,50$) *Criblé raffiné n°* 3 (tête de la caisse) livré à la fonderie.

($0^m,25$) *Sable intermédiaire*, produit éminemment pyriteux, qui est ultérieurement raffiné par un travail analogue et donne un *schlich pyriteux* assez avantageux dans le traitement métallurgique. Dans cette opération complémentaire le sable de queue est considéré comme matière pauvre et va au bocard à eau.

Sable de queue. — Considéré comme n° 3 brut.

Eaux bourbeuses, vont déposer des schlamms dans les grands bassins extérieurs : ces dépôts sont traités comme les schlamms dont il sera question plus bas.

Le travail au caisson allemand est fait par un seul ouvrier qui ne travaille que le jour : il chôme souvent dans le courant d'une année.

Produits livrés à la fonderie par l'atelier de criblerie.

Les produits livrés à la fonderie par l'atelier de criblerie sont donc :

1° *Le fin sec*, *les criblés n°s 1 et 2 lavés*, pilés ensemble au bocard à sec, ils sont tamisés sur une toile à maille de 0,003 et à la main, puis livrés à la fonderie.

2° *Le criblé n° 3 raffiné*, *le sable pyrite*, *les bourbes:* ces trois sortes de produits vont directement à la fonderie.

Nous examinerons plus bas la richesse des matières de criblerie en discutant l'ensemble de la préparation mécanique.

Ateliers de bocards à eau, etc. Laveries aux tables à secousses.

Quelles que soient l'origine des minerais et leur dureté, dès que le cassage à la main ne peut plus donner de *massif*, on les considère comme matière de bocard; on les soumet mélangés tous ensemble à un broyage uniformément fin, et les sables ou schlamms produits par ce travail vont au lavage sur tables à secousses. Le traitement et les appareils qu'il exige sont donc assez simples; chacun des ateliers comprend un certain nombre de pilons, des labyrinthes et bassins de dépôt; trois tables à secousses desservent chaque bocard. L'ensemble des opérations comprend :

1° *Le bocardage à eau,*
2° *Le classement des broyées,*
3° *Le lavage des sables et schlamms.*

Construction des bocards.

1° *Bocardage à eau.* — Sans nous arrêter à tous les détails d'installation des bocards de Vialas, nous indiquerons les éléments essentiels à connaître pour apprécier leur travail. Les flèches ont environ 4 mètres de longueur, y compris le sabot en fonte, qui a la forme d'un prisme droit à base carrée de $0^m,15$ de côté et $0^m,20$ de hauteur, pesant, quand il est neuf, 50 kilogrammes; les flèches en bois de hêtre pesant d'ailleurs

60 à 70 kilogrammes, le poids total du pilon peut atteindre 120 kilogrammes. Les mentonnets sont ordinairement en bois de hêtre, et les cames qui les soulèvent, en fonte. La levée des pilons ne varie guère : elle est de $0^m,20$ à $0^m,25$.

L'auge est rectangulaire; la sole est en quartz pilé et damé par les bocards, au commencement du travail, sur une épaisseur de $0^m,15$ à $0^m,20$; elle est légèrement inclinée de l'avant à l'arrière, c'est-à-dire en sens contraire du mouvement de l'eau. La paroi d'arrière de l'auge est verticale, comme toutes les autres, mais elle est prolongée par un petit plan incliné sur lequel on verse le minerai à bocarder et où arrive l'eau nécessaire au bocardage.

Au lieu d'une grille pour la sortie des broyées, on a adopté ici une espèce de *siphon*, disposition qui rappelle les auges usitées en *Hongrie*, *mais pour un tout autre minerai*. A $0^m,15$ environ au-dessus de la sole, la paroi antérieure de l'auge est percée, sur toute sa longueur, d'une ouverture de $0^m,015$ de largeur, qui communique avec un canal horizontal de $0^m,02$ de large et $0^m,05$ de haut, régnant encore tout le long de l'auge. C'est par là que s'échappent les eaux entraînant les broyées.

Pour une batterie de quatre pilons, l'auge a 1 mètre de longueur, $0^m,35$ à 0,40 de profondeur à l'arrière, et $0^m,30$ à $0^m,35$ à l'avant; 35 à 40 centimètres de largeur. Les pilons étant d'ailleurs écartés de $0^m,15$ à $0^m,16$ d'axe en axe, il reste un jeu assez faible entre deux pilons voisins.

En avant et très-près de l'auge, sont des canaux à fond incliné, où se débourbent les broyées et se déposent les gros sables à repasser.

Travail du bocardage.

Deux mots du travail de bocardage.

Le minerai est jeté dans l'auge; le bocardage commence et se continue sous un courant d'eau dont on ne connaît pas exactement le volume. Il serait assez considérable, si nous en croyons une seule expérience faite par nous-même : nous avons trouvé 150 à 200 litres d'eau par minute. Les broyées les plus fines s'échappent seules par le siphon décrit plus haut; elles entraînent pourtant des quantités de fragments et gros sables variables avec bien des éléments, mais surtout avec l'affluence de l'eau et avec la rapidité du mouvement des pilons. Le bocardier les enlève de temps en temps à la pelle et les rejette des débourbeurs dans l'auge du bocard. Quant aux eaux qui s'écoulent chargées de sables et schlamms, elles vont aux bassins de classement.

2° *Bassins et labyrinthes. Classement des broyées.* — Les bassins de classement et de dépôt des broyées qui s'échappent des débourbeurs comprennent :

1° Quatre premières caisses en bois A, A, A, A, de $1^{m},90$ de longueur, $0^{m},70$ de largeur, $0^{m},50$ de profondeur, le long desquelles règnent deux canaux à section carrée de 17 à 18 centimètres de côté, l'un *a* venant des débourbeurs, et l'autre *b* aboutissant aux compartiments du labyrinthe; ces canaux portent des petites vannes pour l'établissement facile des communications.

2° Un labyrinthe composé de douze ou quinze bassins en maçonnerie d'une largeur de 1 mètre, excepté les premiers dont la section est peu plus large. Ils sont placés les uns à côté des autres, et sur toute leur longueur règnent des petits canaux découverts, munis de vannes comme *a* et *b*, pour faire passer à propos les eaux d'un bassin à l'autre. Ces canaux aboutissent à de grands réservoirs, plus larges encore, après lesquels les eaux vont soit à la rivière, soit de nouveau servir au bocardage, ou même encore donner le mouvement à des roues hydrauliques, comme il arrive pour la roue de l'atelier n° 2 des tables à secousses.

Au moyen des vannes du canal *a* on fait affluer les eaux boueuses dans celles des caisses AAAA qui sont vides ou encore libres; pendant qu'on débarrasse les unes on ouvre les vannes des autres et on évite ainsi l'intermittence dans le travail.

Quelle que soit celle de ces caisses qui se remplit, les eaux, après y avoir déposé les sables β_2, s'en échappent dans le conduit *b* et vont aux bassins du labyrinthe, dont on règle le remplissage, toujours au moyen des vannes.

Comme nature de dépôt, au point de vue du lavage, on ne distingue que cinq numéros de schlamms dans les bassins du labyrinthe; comme les dimensions transversales de ces bassins varient peu, il n'y a d'ailleurs que peu de différence dans la richesse et dans la finesse de ces cinq numéros (1). La classification sera peut-être plus précise dans les canaux du labyrinthe de l'atelier neuf n° 4, car là on a fait varier les largeurs du labyrinthe aux différents points de son parcours.

(1) Le rendement par voie sèche des divers numéros de schlamms que nous avons essayés, a varié entre 6 et 7 p. 100 de plomb d'œuvre; la teneur en argent de ce plomb d'œuvre a été de 400 à 450 grammes au quintal. Ce dernier résultat semblerait indiquer que les gangues ne sont pas argentifères ici comme dans certaines autres mines métalliques. Quoique tous nos essais aient donné des résultats concordants à cet égard, et que le plomb d'œuvre provenant soit de minerais pauvres soit de minerais riches, ait toujours à peu près produit la même quantité d'argent, ce serait un point à bien étudier à l'usine même de Vialas.

Production des ateliers de bocard.

Chaque atelier de bocard est desservi par 2 bocardiers travaillant chacun 12 heures par jour de 24 heures. Quand les chômages ne sont pas considérables, on peut compter en moyenne sur 10 à 12 tonnes de matières passées en 24 heures par un bocard de 15 à 16 flèches. Pendant certains mois d'hiver où les eaux sont abondantes et les autres circonstances favorables à un travail continu, on arrive à passer 13 à 14 tonnes par 24 heures.

La vidange des divers bassins de dépôts est faite par des manœuvres attachés aux ateliers de tables à secousses et chargés de tous les transports afférents à cette partie du travail.

3° *Lavage des sables et des schlamms.*

A chacune de ces deux classes de produits correspondent un travail et des appareils un peu différents. Les trois ateliers de tables à secousses en renferment une pour les sables et deux pour les schlamms du bocard correspondant.

Construction des tables pour sables.

3° *Travail des sables* β_2.

Les tables à secousses consistent en un plancher en bois, consolidé par des traverses, de 4 mètres de long sur $1^m,40$ de large. En tête de la table est un petit plan incliné garni de tasseaux prismatiques pour diviser les boues à laver. Cet appareil est porté, comme d'ordinaire, par quatre chaînes en fer, dont deux fixées à l'arrière, et deux autres pouvant s'allonger ou se raccourcir sur un treuil à déclic placé à l'avant. Le mouvement de secousses est communiqué à l'arrière-tête par un système de leviers coudés, mû lui-même par un arbre à cames commun aux trois tables d'un même atelier. En arrière et au-dessus de la tête de la table est une trémie circulaire où l'on délaye le sable avec

l'eau qui doit servir au lavage. Cet appareil distributeur, semblable à certaines cuves tournantes employées sur les bords *du Rhin* (*pays de Nassau*), se compose d'une trémie en bois, tronconique, ayant $0^m,90$ de diamètre à la grande base, et $0^m,10$ à $0^m,15$ à la petite. Elle est portée par un axe en fer et terminée vers le bas par un cercle en fer dentelé ; un mécanisme de transmission, engrenant avec les dents de ce cercle, le fait tourner, et avec lui la trémie, par saccades autour de l'axe en fer. Dans ce mouvement, les sables entraînés par l'eau tombent du distributeur dans un petit canal placé au-dessous, et qui aboutit au plan incliné en tête de la table.

Enfin, au pied de la table sont des canaux ou rigoles par où les eaux, sortant du travail, vont soit à la rivière, soit à des bassins spéciaux.

Travail des tables.

Le travail des sables β_2 se fait d'une manière assez rapide sur ces tables : ils arrivent au plan incliné de la tête, s'y divisent en petits filets qui occupent toute la largeur de la table. Avec sa râcle en bois, l'ouvrier n'a qu'à remuer de temps en temps la matière de la queue vers la tête. Quant aux conditions essentielles du travail, c'est-à-dire la quantité d'eau employée, la durée et l'amplitude des secousses, l'inclinaison de la table, nous n'avons pu nous procurer de renseignements précis et concordants. On s'en rapporte, à ce sujet, à l'habileté ou à l'habitude des maîtres laveurs.

Le travail des sables se fait d'ailleurs en deux fois, voici les produits qu'il donne :

Première fois :

1/3 de la longueur à partir de la tête, va à la deuxième reprise.

2/3 de la queue, considéré comme matière première de la première fois.

Eaux boueuses, vont à la rivière.

Deuxième fois :

1/3 de la longueur à partir de la tête, schlich pour fonderie.

2/3 de la queue, repasse au même travail.

Eaux bourbeuses, vont à la rivière après passage dans des bassins spéciaux, où elles déposent un sable très-pyriteux qu'on lave de la même manière, pour *schlich pyrites livré à la fonderie.*

Les bassins de pyrites sont ordinairement au nombre de quatre, ayant 2 mètres à $2^m,20$ de longueur, $0^m,60$ de largeur, $0^m,40$ à $0^m,45$ de profondeur.

Construction des tables pour schlamms des divers numéros.

Travail des schlamms β_3 β_4 β_5.... *de divers numéros.*— Les tables pour schlamms diffèrent peu en elles-mêmes de celle pour sables : elles sont construites de la même manière et avec les mêmes dimensions que la première ; de petits ressauts que présentent leur plancher font la seule particularité à noter. L'appareil distributeur diffère au contraire beaucoup. Les saccades communiquées à la trémie des sables ne suffiraient plus pour délayer les schlamms considérablement visqueux qu'on retire du labyrinthe.

On a adopté une nacelle ou balançoire à mouvement alternatif et continu, dans laquelle arrive constamment un petit filet d'eau. Cette nacelle se meut dans une caisse en bois, de forme pyramidale tronquée et à base carrée ; le fond de cette caisse, légèrement incliné vers le conduit qui la réunit à la table, laisse entre lui et la paroi extérieure de la nacelle un intervalle de quelques centimètres. C'est par cet intervalle que les matières délayées dans l'eau de la nacelle s'en échappant par son mouvement oscillatoire, gagnent le conduit qui les amène à la table.

A part cette disposition spéciale pour délayer et amener les schlamms sur les tables, nous n'avons rien de nouveau à dire sur le travail des schlamms de divers numéros et de diverses provenances : il se fait en deux fois, et donne chaque fois des produits analogues à celui des sables. Il va sans dire que la quantité d'eau, la durée et l'amplitude des secousses, etc., sont des éléments variables avec le numéro du schlamm à travailler : ces variations sont en général assez faibles, mais nous n'avons pas encore là-dessus de données certaines.

Chaque atelier, de trois tables à secousses, est desservi par 7 ouvriers en 12 heures (jusqu'ici on n'a travaillé que le jour).

1 maître laveur ;

3 servants, un par chaque table ;

1 goujat, enfant chargé de l'arrivée des schlamms ou sables sur la table et des nettoyages ;

2 manœuvres pour la vidange des bassins et les transports.

Production des tables en schlichs sables, schlamms ou pyrites.

Sans y comprendre le schlich pyrites la production moyenne d'une table en *schlich sables* est de 200 à 250 kilogrammes par 12 heures ; mais ce chiffre est au-dessous de ce qu'on pourrait obtenir d'un travail continu : le produit d'une table pour sables pourrait être de 5 à 600 kilogrammes par 12 heures.

La production moyenne d'une table pour schlamms, non compris le schlich pyrites, est de 140 à 150 kilogrammes par 12 heures : avec un travail continu la production pourrait être de 300 kilogrammes.

Outre les schlichs proprement dits, chaque atelier de trois tables produit encore en moyenne 50 à 60 kilo-

grammes de *schlich pyrites*, soit de sables, soit de schlamms.

Produits livrés à la fonderie par les ateliers de bocardage et lavage.

Les produits livrés à la fonderie par les ateliers de lavage aux tables à secousses sont rapportés aux trois seules classes *sables*, *schlamms*, *pyrites*. Au moment où ils sortent des ateliers de préparation ils renferment une certaine proportion d'eau de mouillage qu'on estime à 10 p. 100. Nous supposons cette estimation un peu trop forte : au moins c'est ce qui résulterait de quelques essais en petit faits par nous-même.

Personnel nécessaire à tous les ateliers de préparation mécanique.

Le personnel nécessaire à l'atelier de criblerie, aux trois ateliers de bocards à eau et aux tables à secousses qui en dépendent est résumé dans le tableau suivant, avec les prix de journées des différentes classes d'ouvriers et les temps d'activité des ateliers (la journée ou le poste étant de 12 heures).

Un atelier de criblerie en activité pendant six à sept mois pleins.

1 casseur ou trieur	1f,50	1 cribleur	1f,50
2 bocardiers	1f,50 l'un	1 raffineur au caisson allemand	1f,50
1 débourbeur	1f,50		

Trois ateliers de bocard à eau en activité pendant 8 à 9 mois pleins.

6 bocardiers à 1f,60 l'un ; 2 par 24 heures pour chaque atelier.

Trois ateliers de lavage (neuf tables), même activité que les bocards.

3 maîtres laveurs	2 fr. l'un.
9 servants de tables	1f,10 à 1f,50 l'un.
3 goujats	0f,60 à 1f,00 *id.*
6 manœuvres	1f,30 à 1f,50 *id.*

Résumé sur la préparation mécanique de Vialas.

Nous examinerons maintenant d'une manière générale les produits de la préparation mécanique, l'ensemble du traitement adopté à Vialas, ses avantages et ses inconvénients. Les nombreux chômages accidentels, l'intermittence du travail de la plupart des appareils rendent impossible la réunion de tous les produits correspondant aux diverses opérations, avec certitude d'une origine commune : ce travail ne serait possible qu'en demeurant sur les lieux pendant assez longtemps. Malheureusement aucun essai ni des matières premières ni des produits n'est fait à Vialas. Nous n'avons donc pas rapporté ici un grand nombre d'essais faits sur divers produits qui ne se correspondaient pas toujours ; mais parmi nos résultats, quelques-uns permettent cependant d'apprécier les principales circonstances de la préparation mécanique, ce seront les seuls que nous indiquerons.

L'excellence d'une préparation mécanique dépend d'un grand nombre d'éléments parmi lesquels nous citerons seulement la nature du minerai, la dépense en main-d'œuvre, mais par-dessus tout, les pertes en matières métalliques, dont l'importance peut souvent plus que balancer les économies qu'on fait d'ailleurs, en opérant plus rapidement. Aussi a-t-on beaucoup fait, dans les divers districts de mines métalliques, pour amoindrir les pertes de matières utiles : on a surtout essayé de diminuer la proportion des schlamms par des triages plus soignés ; la perte en argent et en plomb croissant d'ailleurs, et la première souvent plus que la seconde, avec le degré d'enrichissement des schlichs, on a poussé moins loin le lavage des matières broyées. Or, toutes ces précautions seraient d'autant plus nécessaires à Vialas que son minerai est très-riche en argent et que d'ailleurs, par suite des circonstances de son traitement métallurgique, les pertes au fondage et au grillage tendent à augmenter avec la richesse des schlichs. Sous tous les rapports il serait bon que, profitant d'expériences faites ailleurs, on modifiât un peu

l'ensemble du mode de préparation et même quelques-uns des appareils.

Le traitement du minerai aux ateliers de préparation est fort simple comme on l'a vu : nous indiquerons plus loin les frais qui en résultent par quintal de schlich, et l'on verra qu'il n'est pas moins économique ; mais sous le rapport des pertes, voyons les matières premières et les produits.

Insuffisance du triage.

Au triage, on ne fait en définitive que deux classes : *criblerie* et *bocard*. La galène est assez souvent disséminée dans le minerai, mais dans quelques filons plus particulièrement que dans d'autres ; certains minerais sont plus quartzeux ou barytiques, d'autres plus schisteux. Quelle que soit leur nature, les minerais sont cependant mélangés. Le cassage, qui précède le triage, n'est pas poussé assez loin : il résulte de là que la classe dite *bocard* renferme souvent des échantillons qui, mieux triés, donneraient de la criblerie ; pour celle-ci, un cassage et un triage plus soignés donneraient plus de *massif*, surtout si, d'après les principes généraux dont nous parlions plus haut, on recherchait une teneur un peu moins élevée dans les produits livrés à la fonderie.

Voici, au surplus, quelques moyennes d'essais qui fixeront mieux notre appréciation :

Le minerai de criblerie nous a rendu de 30 à 60 p. 100 de plomb d'œuvre ; nous parlons du minerai brut.

Les sables criblés n° 2 et n° 3 bruts nous ont donné, par voie sèche, $g_6 = 30{,}50$ p. 100 de plomb et $g_7 = 37{,}50$ p. 100. En moyenne, nous admettrions volontiers 40 à 45 p. 100 comme teneur en plomb d'œuvre du minerai de *criblerie*.

D'un autre côté, 100 de minerai livré à la criblerie rendent :

25 de fin sec, criblés n° 2 et n° 3 lavés.
25 de bourbes.
le reste en matières à bocard, pyrites, etc.

Le fin sec rend par voie sèche	70,50 p. 100	de plomb d'œuvre.
Les criblés n° 2 et 3 lavés	75 et 66 p. 100	—
Les bourbes.	25 à 30 p. 100	—
Les matières à bocard. .	15 à 20 p. 100	—

Perte en matière métallique.

Ces résultats portent à croire que la perte en matière métallique est assez considérable, dans le traitement d'un minerai aussi riche que *la criblerie*, pour l'enrichir encore aux teneurs élevées de 70 à 75 p. 100 de plomb d'œuvre, comme dans les divers numéros de criblés. Il est incontestable qu'on gagnerait beaucoup à poursuivre les cassage et triage à la main du minerai même de criblerie, et aussi à ne pas pousser si loin son enrichissement.

Inconvénients du bocardage, tel qu'il est pratiqué à Vialas.

Pour le minerai dit *de bocard*, quelques échantillons nous ont donné, par voie sèche, jusqu'à 25 et 30 p. 100 de plomb d'œuvre ; en admettant, comme nous supposons qu'il est vrai, une teneur plus faible, nous croyons cependant qu'on pourrait encore retirer des minerais une plus forte proportion de matière de criblerie : jusqu'ici, en effet, la quantité de criblerie n'a été que les 3/100 du poids total des minerais traités.

D'un autre côté, en poussant plus loin le triage, on pourrait faire diverses classes de minerais de bocard. Il est en effet désavantageux, et à cause des pertes et à cause de l'augmentation de main-d'œuvre, de bocarder uniformément fin, comme on l'a fait jusqu'ici.

Après un classement des minerais de bocard de diverses provenances et de diverses qualités, il serait bon de régler en conséquence le travail de bocardage ; certaines variétés pourraient être pulvérisées plus grossièrement, et les broyées, au lieu d'être toutes envoyées aux labyrinthes et aux tables à secousses,

seraient, au moins en partie, susceptibles d'être traitées par criblage.

Modifications à apporter à la préparation mécanique.

Nous ne pouvons qu'indiquer ici les modifications qu'il conviendrait d'apporter dans l'ensemble de la préparation mécanique de Vialas ; mais en supposant que ces changements d'ensemble fussent adoptés, il resterait à parler des appareils eux-mêmes.

Les ingénieurs qui ont visité Vialas, tout en signalant les inconvénients de sa préparation mécanique, nous semblent avoir souvent exagéré l'infériorité des appareils qu'elle emploie. Il y a certainement des changements à faire à quelques-uns d'entre eux, mais ils peuvent être exécutés peu à peu et sans nécessiter des frais extraordinaires.

L'installation d'ateliers de triage plus développés n'offrirait aucune difficulté : l'établissement de quelques tables et d'un ou deux hangars serait la seule cause de dépenses à ce sujet.

Pour la classification en général, soit du menu des mines, soit des broyées dans le cas de bocardages gradués, on aurait besoin de *rätter* ou de *trommels*, appareils bien supérieurs, pour le débourbage et le classement, aux grilles comme celle employée jusqu'ici à la criblerie.

Les cribles à main sont beaucoup moins économiques et d'un travail moins régulier que les cribles mécaniques : ceux-ci devraient donc être adoptés ; c'est dire que l'atelier de criblerie serait totalement à transformer si l'on voulait baser la préparation mécanique sur un triage et une classification bien entendus. Or la criblerie ne forme qu'une portion minime des ateliers, et sa démolition ne sera pas une perte sensible pour la compagnie.

Il en serait autrement s'il fallait, conformément à certains projets, transformer les ateliers de bocardage et de lavage. On a quelquefois parlé de cylindres broyeurs pour la pulvérisation des minerais de Vialas ; cette innovation ne nous semble désirable sous aucun rapport. Il est d'abord au moins douteux qu'avec la gangue des minerais et la dissémination assez habituelle de la galène, ces appareils pussent rendre de bons services.

De plus les bocards sont bien établis et, en adoptant les auges à grille, en modifiant convenablement leur travail, ils atteindraient aisément le but qu'on se proposerait avec des cylindres broyeurs.

Quant au travail des tables à secousses, il ne paraît pas désavantageux, et il le serait d'autant moins qu'on classerait mieux les broyées du bocardage. A ce point de vue, l'établissement des appareils dits *spitzkasten* (1) serait peut-être à conseiller ; mais la disposition actuelle des usines de Vialas rendrait cette innovation très-difficile, lors même que l'urgence et l'utilité en seraient bien constatées.

Production des mines et ateliers de préparation mécanique, de 1848 à 1853.

En même temps qu'ils montreront l'importance actuelle des mines de Vialas, le tableau et les renseignements suivants permettront de vérifier encore ce que nous venons de dire sur les imperfections de la préparation mécanique.

(1) *Voyez* Préparation mécanique du Hartz, par M. Rivot. *Annales des mines*, 1851.

ANNÉES	NOMBRE d'ateliers de lavage.	MINERAIS AMENÉS aux bocards à eau.	MINERAIS AMENÉS au bocard sec.	PRODUITS du lavage aux tables.	PRODUITS de la criblerie.
		kil.	kil.	kil.	kil.
1848-49	2	5.249.700	165.600	325.650	48.780
1849-50	2	4.799.500	259.800	427.290	71.310
1850-51	2	4.482.900	205.200	366.100	55.220
1851-52	2 pendant 6 mois. 3 pendant 6 autres.	5.305.500	210.800	395.69	39.050
1852-53	3	7.137.700	177.800	467.380 (Sables. . . 198.400 / Schlamms. 225.130 / Pyrites. . 43.850)	36.370
Totaux pour les cinq années. . . .		26.975.300	1.019.200	1.982.110	250.730
		27.994.500		2.232.840	

Rendement du mètre cube d'exploitation.

Pendant les deux années (1849-50), (50-51), le vide total de l'exploitation a été de 10.487 mètres cubes.

La somme des matières, amenées à la préparation, ayant été de 10.087.400 kilogrammes, la production en *minerai brut* était de 962 kilogrammes par mètre cube d'exploitation.

La production des 10.087.400 kilogrammes amenés aux ateliers a été en *criblé*, *fin*, *sec*, *schlichs*, *sables*, *schlamms* ou *pyrites* ..... 920.020 kilogrammes ; soit :

9 kilogrammes par quintal de minerai brut,
88 kilogrammes par mètre cube de roche en place (1).

En (1851-52), (52-53), le rendement du mètre cube en schlich a atteint 90 et 92 kilogrammes; mais en (53-54) il est descendu entre 70 et 80 kilogrammes : nous admettrons en moyenne 80 kilogrammes de 1848 à 1853, y compris les bourbes.

Le tableau précédent montre :

(1) Il faut observer que dans les tableaux précédents ne figurent pas les bourbes, du moins leur totalité : la plus grande partie est grillée séparément et ajoutée peu à peu aux lits de fusion, dont elles augmentent certainement la richesse.

Proportions dans lesquelles on obtient les diverses sortes de schlichs. Rendement moyen de ces produits en plomb et en argent.

1° Que la proportion *de criblerie* n'a été, en moyenne, que de 3 à 4 p. 100 de la totalité des minerais amenés.

2° Que la proportion des produits riches, *criblés divers*, *fin sec d'une teneur moyenne de* 70 p. 100, a varié entre 7 et 10 p. 100 de la production totale en schlichs divers.

3° Qu'en tenant compte de 6 à 7 p. 100 de *bourbes* obtenues à la criblerie, on arrive à diviser la production totale en

14 ou 16 p. 100 de schlichs de criblerie.
85 à 86 p. 100 de schlichs de bocard à eau.

4° Qu'enfin la somme des produits des bocards à eau et des sables à secousses se décompose en

42 p. 100 de schlichs de sables.
50 p. 100 de schlichs des schlamms.
8 p. 100 de schlichs de pyrites.

Ces derniers résultats montrent le défaut capital de la méthode suivie à Vialas : au contraire de ce qu'on obtient dans la plupart des usines du même genre, ici les produits du criblage sont les moins importants et les schlichs schlamms font la plus grande partie de la production.

Par un grand nombre d'essais des divers produits bons à fondre, nous avons trouvé les teneurs moyennes suivantes :

Criblé, fin sec	70 p. 100 de plomb à 400 ou 420 gr. d'argent au quintal.
Bourbes.	25 à 50 p. 100 de plomb aussi argentifère.
Schlichs divers de tables à secousses (moyenne)	45 à 50 p. 100 de plomb d'œuvre à 380 ou 400 grammes.

D'après ces résultats et les proportions dans lesquelles nous savons qu'entrent les divers éléments de

la production, la richesse du quintal métrique *en plomb et argent* serait :

Plomb. . . . . 48 à 52 p. 100.
Argent. . . . . 190 à 200 grammes.

§ IV. *Traitement métallurgique.*

Disposition générale de la fonderie.

La fonderie de Vialas, placée au milieu même des ateliers de préparation mécanique, se compose aujourd'hui de deux *fours de grillage*, *deux fours à manche*, *un four de coupellation*, *un fourneau de raffinage pour l'argent*. Une machine soufflante, pouvant marcher à la vapeur ou à l'eau, dessert les fours à manche et le fourneau de coupellation. A coté de ces appareils, il y a encore, sur la rive droite du ruisseau de la Picadière, des magasins pour schlichs, brasques, poudre, outils, etc. . . . . ; une menuiserie et une forge ; un bocard à sec pour le broyage des brasques et des terres de coupelle, des aires ou emplacements pour minerai grillé ; des resserres pour les produits, litharges jaunes, rouges, etc.

Les difficultés déjà signalées au sujet des ateliers de préparation se sont retrouvées les mêmes pour l'installation des appareils métallurgiques ; mais à part les irrégularités de disposition, il y a ici de graves inconvénients dans la petitesse des magasins et surtout des magasins à schlichs. La réunion de tous les appareils de la fonderie et de leurs accessoires dans un espace de 25 à 30 mètres de long sur 8 à 10 mètres de large, apporte, surtout avec le mode de construction adopté, une très-grande gêne dans le travail métallurgique.

Nature des minerais au point de vue métallurgique.

Les minerais de Vialas sont ordinairement d'une composition assez simple : après l'élément important, le sulfure de plomb argentifère, les seuls éléments métalliques qui se présentent en quantité notable, sont les sulfures de fer et de zinc. Tous les filons et surtout toutes les parties d'un même filon ne sont pas également riches en pyrites et en blende. Au point de vue des gangues, quoique le quartz soit généralement l'élément principal, la baryte sulfatée augmente sur certains points et parfois la gangue devient exclusivement schisteuse. Malgré ces causes de différences dans la nature des minerais, non-seulement on les soumet, comme nous l'avons dit, à une préparation uniforme, mais encore on mélange, à leur sortie des ateliers, tous les produits lavés. D'ailleurs, vu l'absence de magasins, vu le défaut de force motrice, on ne saurait avoir d'approvisionnements considérables en schlichs : on passe au jour le jour ceux qui sortent des ateliers.

Ce doit être là, on le prévoit, une cause d'irrégularités inévitables dans le traitement métallurgique.

Formule du traitement métallurgique.

Quoiqu'il en soit, la galène argentifère de Vialas doit être regardée comme un minerai quartzeux et pyriteux.

C'est cette circonstance, jointe à quelques autres dont il nous reste à parler, qui détermine la formule du traitement métallurgique.

Vu l'abondance du quartz, le traitement au four à réverbère, tenté autrefois à Villefort, ne saurait convenir à Vialas : les essais faits dans l'ancienne fonderie, l'ont été avec des produits plus riches en gangues que ne le sont actuellement les schlichs de Vialas ; mais des expériences plus récentes, faites en Allemagne, sur des minerais de nature comparable, prouvent qu'on n'obtiendrait aucun résultat satisfaisant dans le four à reverbère, avec la galène de Vialas. Les méthodes de précipitation par le fer ou la fonte doivent aussi être rejetées, vu l'impossibilité où se trouve la fonderie de se procurer, à bon compte, ces matières premières ; il

n'est pas non plus possible de songer à un procédé mixte quelconque, car on ne peut même pas se procurer à des prix convenables les battitures ou scories de forge.

L'éloignement de la fonderie de toutes les matières premières qui pourraient si puissamment faciliter le traitement, la nature des minerais, voilà les circonstances qui ont fait adopter et conserver, depuis l'origine de l'entreprise, la formule de traitement suivante :

1° Grillage complet de minerai ; départ du soufre et de ses composés ; agglomération.

2° Fusion et réduction sous l'influence seule du combustible.

Le plomb d'œuvre obtenu par ces deux opérations successives est ultérieurement coupellé pour argent et litharges de diverses qualités. Comme opération secondaire du traitement métallurgique, nous aurons encore à parler de la révivification de certaines variétés de litharges.

Matières premières. Prix, qualités et provenances.

Houille. — La houille employée à Vialas vient du bassin de *Portes*. Ordinairement sale et mélangée de poussière schisteuse, elle donne beaucoup de crasse ou mâchefer. En 1851-1852, elle coûtait rendue à l'usine 2ᶠ.15 le quintal métrique.

Coke. — Le coke vient de Bessèges. La teneur en cendres varie de 10 à 15 et souvent 18 p. 100. En 1851, le coke lavé (10 p. 100 de cendres environ) coûtait 5ᶠ.15 le quintal rendu, le coke ordinaire 4ᶠ.95.

Le transport de Bessèges à Vialas était de 3ᶠ.25 les 100 kilogrammes. Aujourd'hui ces conditions paraissent s'être améliorées.

Charbon de bois. — Employé seulement pour la mise en feu des fours à manche et pour la révivification des litharges : il coûte rendu à l'usine 6 francs le quintal métrique.

Fondants. — Les scories de forge ou battitures employées accidentellement venaient des forges de Tamaris (Alais), où la fonderie de Vialas s'approvisionne en fers, fontes, etc. : ces faibles quantités ne coûtaient rien ; mais, en cas d'usage continu, ces matières reviendraient au moins à 18 ou 20 francs le quintal rendu à l'usine.

Chaux. — La pierre à chaux est trop rare dans les environs de Vialas, pour qu'on puisse l'employer comme fondant, d'une manière continue. La chaux est introduite dans les lits de fusion, sous forme de fonds de coupelle : on se sert, en effet, pour la sole de coupelle, d'une espèce de marne siliceuse et micacée qui vient des environs *de Pont-de-Montvert* : on estime qu'elle coûte rendue à Vialas, 25 à 30 francs le mètre cube.

Spath fluor. — On connaît au nord de la Lozère (environs d'Altier) quelques filons de galène alquifoux pyriteuse, avec gangue riche en spath fluor ; mais ils sont trop étroits et inexploitables, surtout éloignés comme ils le sont de Vialas.

Matériaux de construction. — Pour les massifs extérieurs des fours à manche et à réverbère, on emploie des micaschistes exploités près de l'usine : ils ne coûtent que l'abattage et le transport peu considérable de la carrière à l'usine. Pour les angles des massifs seuls on s'est quelquefois servi de grès houiller des environs de Portes ; mais les frais de transport rendent l'usage de ces matériaux très-restreint.

Les massifs intérieurs des fours de grillage sont en briques réfractaires payées à Alais 6 francs les 100 kilogrammes, auquel prix il faut joindre 2 francs de transport jusqu'à l'usine.

Les micaschistes du pays garnissent la chemise intérieure des fours à manche. On a essayé des briques rouges ordinaires venant d'Alais ; mais les résultats ne

furent pas satisfaisants. Quant aux micaschistes, ce sont des matériaux médiocres pour cet usage.

Les terres pour brasques sont des schistes pourris, formant une argile très-grasse, exploités auprès de *Génohlac* : elles coûtent $0^f,70$ à $0^f,80$ les 100 kilogrammes rendus à l'usine.

Le sable est pris à la rivière : il coûte le transport, soit $0^f,05$ par 100 kilogrammes.

La chaux coûte rendue à l'usine $2^f,15$ le quintal.

Les fers pour outils, armatures, etc., coûtaient en 1851-1852, 30 à 35 francs le quintal rendu; la fonte brute 18 à 20; la fonte moulée 30 à 35 francs.

Première opération : grillage. Construction des fourneaux.

Les fourneaux de grillage sont des réverbères à une seule sole où se passent successivement toutes les périodes d'une même opération.

La sole sensiblement rectangulaire, avec angles arrondis, a $3^m,70$ de longueur et $1^m,80$ de largeur. La section longitudinale du four donne pour profil de la voûte une courbe aplatie qui s'infléchit rapidement du pont vers le rampant : la hauteur de cette voûte au-dessus de la sole est de $0^m,35$ à $0^m,40$ auprès du rampant et de $0^m,50$ à $0^m,60$ près du pont.

La hauteur du pont au-dessus de la sole est de $0^m,15$ à $0^m,20$ et à $0^m,40$ au-dessus des barreaux de la grille.

La grille a $1^m,50$ sur $0^m,60$, le rampant $0^m,30$ sur $0^m,50$. Outre la porte de chauffe, ce four présente cinq autres ouvertures : une sous le rampant, en face du pont; trois autres dans la paroi longitudinale antérieure, servant au travail; une cinquième, percée dans la voûte, est munie d'une trémie par laquelle on introduit les charges.

La sole est formée du mélange d'un quart terre grasse et trois quarts sable de rivière, qu'on bat par couches successives sur une épaisseur de $0^m,15$ à $0^m,20$. On donne, en même temps, une légère inclinaison vers

un orifice placé près de la porte de travail du milieu et qui communique avec l'extérieur par un canal traversant la paroi du fourneau. C'est par là que sort le minerai aggloméré.

Ces fours de grillage n'ont pas de chambres de condensation; les rampants suivis de cabinets où s'engagent les fumées avant de se rendre à la cheminée, sont insuffisants pour retenir convenablement les matières entraînées.

Personnel du grillage.

Chaque four de grillage est desservi par trois ouvriers divisés en trois postes de huit heures chacun : ils sont chargés de tout le service, transport et cassage du minerai grillé. Chaque grilleur reçoit $1^f,75$ par poste de huit heures.

La houille de Portes et le minerai sont les seules matières premières du grillage.

Assortiment des minerais soumis au grillage.

Le but du grillage étant de désulfurer complétement le minerai, il importe, pour ne laisser aux grilleurs aucun prétexte, de composer devant eux les charges à élaborer de manière à ce qu'ils ne puissent attribuer l'insuccès du grillage à une trop grande abondance de pyrite. La surabondance du soufre n'est d'ailleurs pas le seul écueil à éviter; car, le premier effet du grillage étant de donner, dans le cas le plus favorable, un mélange d'oxydes divers et de sulfate de plomb, il faut, dans la dernière période de l'opération, faire intervenir un autre élément, le quartz, comme agent de décomposition du sultate de plomb. Il est donc nécessaire d'assortir les matières à griller et d'éviter soit un défaut de quartz, soit un excès de pyrites. On admet que les schlichs, *sables*, *schlamms* et les produits *de cribleric* sont particulièrement quartzeux, tandis que les schlichs *pyrites* et *les bourbes* sont surtout riches en sulfures de fer. Nous avons déjà dit que cette classifi-

cation est incertaine et ne peut pas servir de règle constante; nous en verrons bientôt la preuve.

La charge est d'ordinaire composée de 700 kilogrammes des diverses variétés de produits; nous donnerons plus bas la composition des grillages pendant toute une année.

Travail du grillage.

Le travail du grillage se peut diviser en six périodes: 1° façon de la sole; 2° refroidissement du four; 3° chargement; 4° échauffement de la masse; 5° rablage continu à une température basse d'abord, croissant ensuite peu à peu; 6° ramollissement et agglomération de la masse.

Cette succession d'opérations correspond au principe de ce travail tel qu'il a été indiqué précédemment: voici le détail des manipulations pendant les diverses périodes.

A la fin d'une opération, le four est porté à une haute température, en présence de laquelle on craint de charger les matières brutes: on laisse donc refroidir; mais on profite de la chaleur pour réparer la sole, qui s'imprègne peu à peu de sulfures et oxysulfures considérablement ramollis à la dernière heure du travail. On aplanit donc la sole pendant que le four est encore chaud; puis on laisse baisser la température jusqu'au rouge très-sombre, en ouvrant toutes les portes pendant une heure et demie ou deux heures. C'est alors qu'on introduit la nouvelle charge par la trémie de la voûte: on l'étend uniformément sur la sole où elle occupe une épaisseur de $0^m,12$ à $0^m,15$. Cette opération prend un quart d'heure et elle est faite par les ouvriers de deux postes, celui qui arrive et celui qui s'en va.

Le grilleur maintient le feu pendant une heure, et la matière, s'échauffant peu à peu, prend la température du rouge naissant. A partir de ce moment, les flammes bleues dues à la combustion du soufre commencent à apparaître, et alors commence le brassage. L'ouvrier

râble pendant un quart d'heure et se repose cinq minutes, puis recommence en introduisant successivement son outil par chacune des portes de travail: il retourne encore la matière avec la spadelle de manière à éviter l'agglomération, à présenter à la surface toutes les parties du minerai et à le rapprocher ou l'éloigner successivement de la chauffe. Ce travail se continue pendant sept heures, et la température s'élève peu à peu; l'air nécessaire au grillage entre par les portes de travail.

Le brassage, devenu de plus en plus difficile, se continue encore pendant trois heures: l'ouvrier, pendant ce temps, est souvent obligé d'écraser les masses pâteuses qui se séparent ou s'attachent aux ringards. A la huitième heure depuis le chargement, un nouveau grilleur arrive: il laisse croître peu à peu la température jusqu'à la douzième heure.

A ce moment, le grilleur donne le coup de feu qui doit déterminer la réaction des matières siliceuses sur le sulfate de plomb: le four est alors au rouge vif, et le brassage se poursuit pendant deux heures, de sorte qu'à la quatorzième heure on ouvre le canal de déchargement et l'ouvrier aide à la coulée des matières pâteuses en les ramenant constamment vers l'orifice de sortie; elles tombent sur le sol de l'usine où elles forment un gâteau de 5 à 6 centimètres d'épaisseur.

Le grilleur du poste suivant arrive alors, c'est-à-dire à la quinzième ou seizième heure depuis l'opération précédente. On arrose d'eau le gâteau de minerai grillé, puis les grilleurs le concassent en fragments de la grosseur d'un œuf au moins, et le portent au tas à 3 ou 4 mètres du fourneau. Pendant ce temps le four se refroidit pour la charge suivante.

Durée de l'opération.

La durée moyenne de l'élaboration d'une charge de 700 kilogrammes est donc de 16 à 17 heures.

Produits du grillage.

Les produits du grillage sont :

Le minerai grillé ; les fumées du grillage ; les fonds de sole.

Minerai grillé. — Ce produit est gris blanchâtre, en masse compacte, d'un aspect homogène et n'ayant jamais l'éclat vitreux ; mais ce sont là les caractères extérieurs du produit d'un bon grillage, car quand l'opération a été manquée, la masse devient bleuâtre et renferme plus ou moins de sulfures métalliques dont on voit briller çà et là les facettes cristallines. Plusieurs variétés, obtenues par des grillages supposés parfaits, ont été soumises à l'analyse : nous avons reconnu que l'examen extérieur est tout à fait insuffisant pour juger de la nature du minerai grillé et de la réussite du grillage. D'une part, il est rare que, même dans les échantillons où l'œil n'en distingue pas trace, il ne reste pas quelques parties disséminées de sulfure de plomb ; d'autre part, le sulfate de plomb s'y retrouve toujours en proportion notable, ainsi que le sulfate de baryte. Ces faits sont résumés par la composition suivante, que nous donnons comme la plus ordinaire du minerai grillé de Vialas :

Sulfates solubles	traces
Oxyde de plomb	46,00
Oxyde de zinc	1,50
Oxyde d'antimoine	0,50
Peroxyde de fer	6,00
Sulfate de plomb	24,70
Sulfate de baryte	7,00
Sulfure de plomb	1,50
Sulfure de zinc	traces
Silice (gélatineuse)	6,00
Oxyde de plomb	4,50
Oxyde de fer, chaux, baryte	0,50
Quartz et argile	1,80
Total	100,00
Teneur en plomb métallique	63 p. 100

La désulfuration du minerai est donc incomplète, et

Désulfuration incomplète du minerai.

le but de l'agglomération est imparfaitement atteint. Or, comme le montre l'analyse, la seule cause de ce fait est le défaut de matières siliceuses dans la composition des grillages. Il n'y a en effet que 7 à 8 p. 100 de silice, dont la plus grande partie passe à l'état de silicate de plomb, jouant ainsi le rôle que lui attribue la théorie de l'opération. Il est certain, d'après cela, qu'il y aurait avantage à laisser, dans les produits livrés au grillage, une plus forte proportion de quartz, c'est-à-dire à pousser moins loin l'enrichissement des schlichs, tout en restant d'ailleurs dans des conditions convenables sous le rapport de la fusibilité des minerais.

Nous insistons sur ces considérations, d'abord parce que les résultats du grillage à Vialas semblent être assez régulièrement tels que nous venons de les indiquer, et aussi parce que leur connaissance prépare l'explication de certains embarras qui se produisent dans le travail des fours à manche.

Par voie sèche, le minerai grillé rend de 58 à 60 p. 100 de plomb d'œuvre, dont la teneur en argent est de 360 à 380 grammes au quintal.

Fumées de grillage. — Ce produit secondaire, d'une composition naturellement fort variable, se perd en grande partie, vu l'absence de chambres de condensation. C'est d'autant plus regrettable qu'elles sont riches en plomb et en argent, car elles rendent par voie sèche 25 à 30 p. 100 de plomb d'œuvre à 345 ou 350 gr.

Le peu de fumées qu'on recueille repasse au grillage.

Fonds de sole. — Composées de sous-sulfures et oxysulfures, ces matières sont riches en plomb, mais surtout riches en argent. Elles s'enlèvent régulièrement tous les ans, au moment de la réparation des fours, quelquefois aussi après une opération, quand la sole s'exhausse trop : elles repassent au travail.

Le plomb d'œuvre qu'on obtient en les fondant renferme 1 kil. et plus d'argent au quintal métrique.

Grillage spécial des bourbes. Nature du produit obtenu.

Les bourbes sont grillées à part; le travail est plus rapide que pour le minerai. On ne pousse pas jusqu'à l'agglomération; aussi les bourbes grillées renferment-elles encore une forte proportion de sulfates : sur 35 p. 100 d'oxyde de plomb qui s'y trouvent, il y a à peine 2 ou 3 p. 100 d'oxyde libre, le reste étant combiné à l'acide sulfurique. Nous avons déjà observé que ces bourbes étaient riches en pyrite de fer : le produit grillé contient en effet 12 à 14 p. 100 de peroxyde de fer. Quelques centièmes d'alumine s'y trouvent encore combinés à l'acide sulfurique, provenant vraisemblablement d'un peu de gangue schisteuse ainsi sulfatisée pendant le grillage. Enfin la partie stérile des bourbes grillées se compose de 25 à 30 p. 100 de quartz et de quelques centièmes de sulfate de baryte ou d'argile.

Par voie sèche, l'essai de ce produit donne 25 p. 100 de plomb d'œuvre à 365 grammes d'argent.

Composition et consommation en combustible des grillages, de 1848 à 1853.

Le tableau suivant donne la composition des grillages et la consommation correspondante en combustible pendant cinq années consécutives :

MATIÈRES.	ANNÉES				
	1848-49.	1849-50.	1850-51.	1851-52.	1852-53.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Schlichs de tables à secousse.	329.780	416.360	363.500	373.360	515.150
Criblé et fin sec.	53.120	69.440	50.200	43.810	44.150
Fumées.	non comptées	»	»	18.400	»
Bourbes.	52.200	39.500	81.700	51.600	43.400
Totaux.	436.100	325.300	495.400	487.200	502.700
Combustible employé.	158.500?	234.800	225.600	246.200	420.450
En écartant l'année 1848-49 qui paraît exceptionnelle, on a pour moyenne de la consommation en combustible par quintal métrique de matières amenées au grillage.					46 à 47 kil.

Frais spéciaux du grillage.

Chaque charge de 700 kilogrammes demande 16 heures de travail; on passe donc 1000 kilogrammes environ par 24 heures ou par trois postes; chaque poste exige un ouvrier à $1^f,75$.

On estime les réparations annuelles des fours, l'usure et la réparation des outils à 240 ou 250 francs par an, soit pour une production moyenne de 5.000 quintaux $0^f,049$ par quintal.

Le cassage du minerai grillé étant fait par les grilleurs mêmes ne donne lieu à aucuns frais nouveaux; mais parmi les dépenses spéciales, il faudrait encore compter le transport des schlichs et de la houille auprès du fourneau de grillage, qui se fait par des manœuvres occupés à tous les travaux accessoires de la fonderie : nous en tiendrons compte plus tard.

En résumé, les frais spéciaux du grillage seraient, par quintal de minerai brut :

	fr.
Houille, $0^q,465$ à $2^f,15$.	0,999
Main-d'œuvre, $0^j,30$ à $1^f,75$.	0,525
Entretien et usure des fours et outils.	0,049
Total.	1,573

Deuxième opération. Fusion et réduction du minerai grillé. Disposition des fours à manche.

Deux fours à manche servent à la fusion du minerai grillé, tous deux construits sur le même modèle : cuve à parois sensiblement verticales; deux massifs, l'un intérieur, l'autre extérieur; sole inclinée de la rustine à la poitrine; avant-bassin et bassin de réception ou de coulée; une seule tuyère. Une voûte reliant les deux parois latérales du massif extérieur, au-dessus du gueulard, conduit les fumées des deux fours dans une cheminée commune, élargie par le bas sous forme de chambre de condensation, mais tout à fait insuffisante.

Les dimensions principales de ces appareils sont :

	mèt.
Hauteur du gueulard au-dessus de la table de travail. .	1,70
Largeur, au niveau du gueulard.	0,50
— à la tuyère.	0,45
Longueur dans le sens des tuyères.	1,00
Diamètre de la buse.	0,035
Hauteur du gueulard au-dessus de la tuyère. . .	1,30 à 1,35
Épaisseur du massif intérieur.	0,50
— de la poitrine.	0,12

L'intérieur est tout en micaschistes des environs; la poitrine seule est en briques, ordinairement terminée vers le bas par une petite voûte surbaissée de $0^m,10$ à $0^m,12$ de flèche : c'est par là que s'écoulent les produits.

L'argile employée pour la confection de la brasque est trop grasse; elle se fendille au feu, ce qui oblige à la mélanger avec une trop forte proportion de coke en poussière. On met ordinairement 6 à 8 parties de coke pour 1 d'argile : la brasque ainsi préparée est alors beaucoup trop légère, et la sole, comme l'avant-bassin, se ronge et s'agrandit très-vite.

Soufflerie. Une soufflerie à piston dessert les deux fours à manche, le fourneau de coupellation et deux petites forges pour la réparation des outils : elle peut marcher à l'eau, mais le plus souvent elle est mise en mouvement par une machine à vapeur de 10 à 12 chevaux. L'air sortant du cylindre soufflant se rend dans un réservoir cylindrique en tôle qui sert de régulateur. Un reproche très-grave à faire aux dispositions des conduites du vent, c'est l'absence de *manomètre*, de sorte qu'il est impossible de déterminer les conditions du soufflage dans les divers foyers alimentés par la machine.

Matières premières de la fusion. Les matières premières amenées à la fusion sont :

Le minerai et les bourbes grillées;

Les fonds de coupelle, soles, abstrichs, etc.;

Les scories riches des opérations précédentes;

Le coke, combustible exclusivement employé aux fours à manche;

Le minerai et les bourbes sont livrés par brouettées : le minerai seul est pesé exactement.

Les fonds de coupelle, soles, abstrichs, etc., sont apportés ensemble dans les lits de fusion, non-seulement comme matières riches en plomb, mais encore comme fondants par la chaux et l'oxyde de fer qu'ils renferment.

Enfin les scories riches tiennent le plus souvent une notable proportion d'oxyde de plomb : d'ailleurs elles aident encore à la fusion des charges.

Personnel des fours à manche. Les postes, aux fours à manche, sont de 8 heures, pendant lesquelles le travail exige la présence d'un maître fondeur à $2^f,10$, deux aides à $1^f,50$ l'un; un manœuvre est, en plus, attaché au travail; il reçoit $1^f,50$ à $1^f,75$ par poste de 12 heures. Le manœuvre et les aides sont chargés des transports, de la préparation des lits de fusion et de tous autres travaux accessoires.

La machine soufflante occupe par 12 heures un chauffeur à $1^f,25$.

Composition des lits de fusion. Les lits de fusion sont préparés sur le sol de l'usine et, autant que le permet le peu d'importance des approvisionnements, régulièrement composés comme suit :

	kilogrammes.
Une brouettée de minerai grillé.	160
Deux brouettées de scories riches.	180 à 190
Bourbes grillées.	25 à 30
Fonds de coupelle, abstrichs, etc.	30
Matte de l'opération précédente. Variable.	8 à 10

La proportion de scories varie un peu avec l'allure; en cas d'embarras, on corrige par addition de cette matière première. Il est évident que les battitures et scories de forge, ou même la chaux seraient bien préférables, surtout au point de vue de la teneur en oxyde

de plomb des scories provenant de la fusion. La richesse des minerais en baryte et oxyde de fer, comparée à la proportion de matières siliceuses qui s'y trouvent et la quantité de chaux apportée par les soles de coupelle sont toutefois des éléments qui compensent le défaut de fondants énergiques, nous en verrons la preuve un peu plus bas.

Travail des fours à manche.

Au commencement de la campagne la mise en feu se fait au charbon de bois ; après un feu modéré de 12 ou 15 heures on fait la première charge en scories, pour la façon du nez. Ce conduit a en moyenne la demi-longueur du four, de sorte que le courant gazeux tend à monter vers l'axe du fourneau, entre les charges de minerai et celles du combustible.

Une fois le travail en marche, on charge assez régulièrement toutes les 8 ou 10 minutes, en se guidant d'après la longueur du nez, que le fondeur a grand peine à conserver régulière. On passe le lit de fusion indiqué en une heure, mais on ne coule que toutes les quatre heures ; pendant ce temps le plomb d'œuvre et les autres produits des quatre lits de fusion élaborés s'écoulent dans l'avant-bassin ; les scories s'y figent en disques épais au-dessus des autres matières, et ce gâteau refroidi est, de temps en temps, enlevé tout d'une pièce.

La coulée se fait par la percée du canal allant de l'avant-bassin à celui de réception : on n'arrête pas le vent, ce qui rend la manœuvre fort pénible pour les fondeurs et leurs aides. Au-dessus du plomb, surnage ordinairement un peu de matte qui, assez vite refroidie, est mise de côté, pour les opérations suivantes : quant au plomb-d'œuvre, il est immédiatement coulé en lingots de 39 à 40 kilogrammes, pour la coupellation.

Avant d'examiner les produits du travail, insistons un peu plus sur certains détails de l'opération.

Rapidité de l'allure : inconvénients.

Nous avons vu qu'il était impossible d'apprécier exactement les circonstances du soufflage, vu l'absence du manomètre ; mais il suffit de voir la rapidité avec laquelle on passe les lits de fusion, la flamme et la chaleur du gueulard, malgré les soins qu'on prend de l'obstruer par de la brasque, les fumées abondantes qui, en certains moments, obscurcissent les ateliers, pour être convaincu que la pression du vent est très-considérable eu égard à la hauteur des fourneaux et que l'allure est beaucoup trop rapide. S'il fallait d'ailleurs d'autres preuves, à l'appui de cette opinion, nous les trouverions encore dans les engorgements fréquents, qui se produisent aux environs de la tuyère, par suite de la descente précipitée des charges. Tout en reconnaissant encore que les matériaux du massif intérieur ne sont pas suffisamment résistants, nous remarquerons aussi que la faible durée des campagnes (dix jours en moyenne) est partiellement due à la fréquence des engorgements.

La rapidité du travail, dans ces fourneaux peu élevés, amène une perte par volatilisation et par entraînement d'autant plus importante à Vialas qu'il n'y a pas de chambres de condensation.

Produits de la fusion.

Les produits de la fusion du minerai grillé sont :

1° Le plomb-d'œuvre, la matte, les scories ;

2° Les produits secondaires tels que *fumées* et *crasses*.

Richesse du plomb d'œuvre en argent.

Le plomb-d'œuvre est généralement antimonial : il tient en moyenne de 370 à 375 grammes d'argent au quintal ; malgré l'addition des matières plombeuses pauvres en argent, comme abstrichs et fonds de coupelle, la proportion de ce métal précieux reste donc à peu près la même dans le plomb-d'œuvre obtenu avec les lits de fusion et dans celui donné par le minerai

grillé fondu tout seul : nous reviendrons sur ce fait un peu plus bas.

Causes qui expliquent la faible proportion de matte obtenue.

La matte se produit toujours *en très-petite quantité*. C'est là un fait digne de remarque, quand on le rapproche de la composition du minerai grillé : il semblerait *à priori* que la présence des sulfates de plomb et de baryte dût favoriser la production des mattes; mais en examinant d'un peu plus près les phénomènes de la fusion et de la réduction, on s'explique aisément la minime proportion de ce produit secondaire. Chacun sait que le sulfate de plomb se décompose par le charbon pour donner, outre l'acide carbonique, du plomb métallique et de l'acide sulfureux, pourvu que la matière charbonneuse ne soit pas en trop grand excès; quand celle-ci devient surabondante et que la température est élevée, les produits sont du plomb métallique mélangé d'un peu de sous-sulfure et de l'acide sulfureux qui entraîne une notable proportion de sulfure de plomb. Or, sans pousser plus loin cette discussion, il est facile de reconnaître que les circonstances sont éminemment favorables à la production de ces réactions dans l'intérieur des fours à manche : il en résulte donc que le sulfate de plomb ne doit donner, en général, que peu de sous-sulfure; comme d'ailleurs il ne reste dans les lits de fusion que des quantités insignifiantes d'autres sulfures métalliques et notamment du sulfure de fer, les mattes doivent être fort rares. Nous n'avons rien dit du sulfate de baryte : c'est que d'abord il se trouve dans les lits de fusion en quantité moindre que le sulfate de plomb et que d'aillleurs l'énergie de la baryte comme base, son affinité pour la silice à une haute température, suffisent à expliquer, comment sous l'influence des matières quartzeuses du minerai grillé et des bourbes, des scories ajoutées aux lits de fusion et de la silice des parois du fourneau, cet élément du sulfate

de baryte passe intégralement dans les scories, l'acide sulfurique devenant libre, se réduisant probablement à l'état d'acide sulfureux, mais ne pouvant nullement contribuer à la formation de mattes.

Nature des scories : leur richesse en plomb.

Les scories se présentent sous des aspects fort variables : en bonne allure, elles sont d'un brun foncé, assez bien fondues, se réduisent facilement en plaques comme des scories de forges; mais on n'obtient cette variété que très-rarement d'une manière continue. Le plus souvent elles sont grises et mêmes bleuâtres, bulleuses, mal fondues et assez lourdes. Ces caractères deviennent de plus en plus tranchés à mesure qu'on se rapproche de la fin des campagnes, ou encore que le travail du fourneau est plus embarrassé.

La première variété ne présente d'ordinaire que peu de cavités et n'entraîne que peu de plomb en grenailles; mais les autres, enlevées d'ailleurs tout d'une pièce de l'avant-bassin, où elles sont à demi figées sur le plomb métallique, en emportent des quantités notables.

Des échantillons des diverses variétés ont été soumis à l'analyse, avec le soin de les dépouiller préalablement des grenailles de plomb métallique, mécaniquement mélangées. Voici les résultats qui nous paraissent le mieux représenter la composition moyenne des scories de Vialas :

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.	N° 7.
Silice	36,70	36,10	38,00	39,40	35,00	34,00	34,20
Oxyde de plomb	4,00	4,11	4,00	11,76	6,00	7,00	9,20
Protoxyde de fer	25,83	20,80	30,00	21,00	26,00	21,90	»
Alumine	3,50	traces.			3,50	4,00	»
Oxyde de zinc	4,50	6,50	4,20	4,50	4,00	5,85	»
Baryte	18,30	23,10	14,00	14,00	14,00	14,33	»
Chaux	9,00	8,70	9,00	9,00	8,50	9,50	»
Magnesie	0,50	»	traces.	»	1,60	2,00	»
Acide sulfurique et soufre	non dosés	0,39	non dosés	»	0,50	»	»
Totaux	99,83	100,00	99,00	99,66	99,10	98,58	»

Les nos 1, 2, 3 correspondent à une bonne allure.

Les nos 4, 5, 6, 7 comprennent les variétés produites très-fréquemment par suite d'engorgements passagers ou vers la fin de la campagne. Toutes ces scories renferment des quantités appréciables d'acide sulfurique et soufre qui nous paraissent s'y trouver surtout à l'état de sulfate et de sulfure de plomb. Par voie sèche ces scories rendent de 2 à 6 p. 100 de plomb-d'œuvre, tenant seulement 25 à 30 grammes d'argent au quintal.

Ces résultats montrent que la teneur moyenne des scories en oxyde de plomb n'est pas très-forte, au moins dans les nos 1, 2, 3; ce n'est donc pas là la principale cause de perte dans le travail des fours à manche. La somme des bases pour la quantité de silice y est à peu près suffisante : la baryte et l'oxide de fer apportés par les minerais mêmes y sont déjà abondants; la chaux seule paraît être en défaut. Il ne faudrait vraisemblablement que peu de changements à la composition des lits de fusion pour amoindrir encore la teneur en oxide de plomb. Avec des approvisionnements plus considérables, des dosages plus soignés, une allure un peu mieux proportionnée à la nature des minerais et aux dimensions des fourneaux, on éviterait surtout les teneurs plus élevées des nos 4, 5, 6 et 7.

La perte est plus sensible par les grenailles entraînées dans les cavités des scories; car le plomb qui y reste à cet état est du plomb-d'œuvre riche en argent : tout ce qui peut augmenter la fusibilité des scories, contribuera à diminuer ce déchet. A ce point de vue, c'est encore dans le dosage des charges qu'il faut porter toute son attention : l'absence de fondants, comme la chaux et les battitures, est donc très-regrettable sous ce rapport. Dans toute autre position de la fonderie, qui permettrait l'emploi de meilleurs matériaux pour la

construction de la brasque, il y aurait aussi lieu de modifier un peu le mode d'écoulement des scories.

Fumées des fours à manche.

Les fumées abondantes qui sortent, par entraînement et volatilisation, du gueulard des fourneaux, se rapprochent beaucoup de la nature du minerai grillé : elles renferment surtout des matières oxydées. On n'en recueille qu'une minime quantité et cependant elles rendent par voie sèche 38 p. 100 de plomb-d'œuvre à 75 ou 80 grammes d'argent au quintal.

La perte par volatilisation et entraînement exige donc la construction de chambres de condensation. On la diminuerait aussi en abaissant la pression; ou bien, si, pour conserver la rapidité de la production et vu la nature du combustible, on laisse au vent la pression actuelle, il est nécessaire d'exhausser notablement les fours.

Crasses sulfurées qui se produisent dans le travail de la fusion.

Comme dernier produit secondaire, citons enfin les dépôts qui se forment au-dessus de la tuyère, de divers sulfures métalliques régénérés dans le travail, et surtout de sulfure de plomb. Il a été dit précédemment que le sulfate de plomb, laissé dans les produits du grillage, ne devait pas produire beaucoup de matte à la fusion, mais par contre, sa réduction par le charbon donne du sulfure de plomb volatilisé et entraîné par le courant gazeux qui s'élève dans le fourneau. Ce sulfure se condense ensuite dès que la température est moins élevée, comme dans la région du four supérieure à la tuyère; il finit par s'y amasser en dépôts qui restreignent peu à peu la section des fours et empâtent le combustible; bref, c'est là l'origine d'encrassements qui contribuent, pour une large part, à amoindrir la durée des campagnes.

Si la cause première de ces dépôts est, comme nous le supposons, la présence du sulfate de plomb dans le

minerai grillé, il y aurait donc avantage au point de vue de la durée des campagnes, à compléter la désulfuration du minerai par les moyens que nous avons indiqués au grillage. Il est bon toutefois d'observer encore que le soufre contenu dans le coke, tend aussi à augmenter la quantité de ces crasses sulfurées.

Un échantillon de ce produit secondaire nous a donné par voie sèche 41 p. 100 de plomb et 40 à 50 grammes au quintal de plomb-d'œuvre.

Tableau des produits et consommations de la fusion du minerai grillé.

Le tableau suivant résume les produits et consommations des fours à manche pendant cinq années consécutives :

	ANNÉES				
	1848-49.	1849-50.	1850-51.	1851-52.	1852-53.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Abstrichs	non pesés	»	»	»	»
Fonds de coupelle	*Id.*	»	»	»	»
Minerais grillés	299.600	370.590	363.100	430.200	510.300
Coke consommé	206.835	204.250	237.860	257.060	300.600
Plomb d'œuvre (lingots 39 à 40 kilogr.)	5.149	5.776	5.315	7.137	7.564
Plomb : poids total	205.690	231.040	212.600	285.480	302.560

Consommation moyenne en coke p. 100 de minerai grillé. 60 à 61 coke.
Consommation moyenne de 1852-53. 59
Rendement moyen du minerai grillé. . . . . 60 à 62 p. 100.

Rendement du minerai grillé. — Aperçu sur les pertes en plomb pendant la fusion.

Le rendement écrit sur ce tableau est rapporté à 100 de minerai grillé : or il résulte de nos essais sur le minerai grillé qu'il tient de 60 à 65 p. 100 de plomb-d'œuvre; il semblerait donc prouvé par le rendement moyen de cinq années consécutives que la plus grande partie du plomb contenu dans les matières additionnelles, comme abstrichs et fonds de coupelle, est perdue, pendant la fusion, soit par les scories ou autres produits secondaires, soit *beaucoup plus encore par volatilisation*.

Un autre fait semble vérifier cette appréciation : nous avons vu que la teneur en argent du plomb-d'œuvre retiré des lits de fusion est la même que celle obtenue dans les essais par voie sèche du minerai grillé seul; or, si on ne perdait pas la plus grande partie du plomb des abstrichs, fonds de coupelle, etc., la teneur en argent du plomb-d'œuvre devrait baisser, car ces produits sont notablement moins argentifères que les minerais grillés.

Pour traduire exactement ces résultats en chiffres, il faudrait avoir au moins le poids exact des abstrichs, fonds de coupelle, etc., passés dans les lits de fusion. En admettant la composition donnée précédemment comme la plus ordinaire, et les teneurs suivantes : minerai grillé, 65 p. 100; bourbes grillées, 30 p. 100; abstrichs et fonds de coupelle, 75 p. 100; un lit de fusion contiendrait en tout 135 kilogrammes de plomb sans y comprendre celui des scories et de la matte : sur ces 135 on n'en retirerait que 110 à 115, soit donc une perte de 10 à 15 p. 100 sur la quantité de plomb contenue dans le lit de fusion. Il est aisé de voir que dans cette estimation nous sommes plutôt en dessous qu'au dessus de la vérité.

Frais spéciaux de la fusion par quintal de schlich brut.

En rapportant la consommation en combustible à 100 kilogrammes de minerai brut (comme pour le grillage) nous trouvons $0^{q},51$ de coke par quintal de schlichs soumis au traitement.

La main-d'œuvre peut se déduire des moyennes suivantes : on passe par 24 heures, dans un four à manche, 3.500 kilogrammes de minerai grillé, et pendant ce temps il faut compter 3 journées de maître fondeur à $2^{f},10 = 6^{f},30$; 6 journées d'aides à $1^{f},50$, soit 9 francs; 4 journées de manœuvre et chauffeur de la soufflerie à $1^{f},25$ et $1^{f},50$, soit pour les quatre, $5^{f},10$.

La main-d'œuvre par 24 heures serait donc de 20f,40, et par 100 kilogrammes de minerai grillé, 0f,58, ou encore par 100 kilogrammes de minerai brut, 0f,50.

La machine soufflante consomme en moyenne 500 kilogrammes de houille (1) par 24 heures, soit pour 100 kilogrammes de minerai grillé 14k,30, et pour 100 kilogrammes de schlichs bruts 12k,50.

Enfin les frais de réparation, d'entretien des outils et des fourneaux sont estimés à 0f,15 par quintal de minerai grillé ou 0f,13 par quintal de minerai brut.

En groupant tous ces résultats, les frais spéciaux de la fusion seraient donc :

Coke, 0q,51 à 4f,95.	2,52
Houille pour la machine à vapeur, 0q,125 à 2f,15.	0,25
Main-d'œuvre, 0j,32 à 1f,57 en moyenne.	0,50
Usure et entretien des outils et des fourneaux. . .	0,13
Total.	3,42

Comparaison de ces résultats avec ceux obtenus à Pontgibaud avant 1850.

Ce qui élève considérablement ces frais de fusion, c'est la consommation en coke : si l'on rapproche les frais de grillage de ceux de fusion et réduction, on trouve pour somme totale par quintal de minerai brut livré à la fonderie, 4f,993, soit 5 francs, sur quoi le combustible compte pour 3f,52. Y aurait-il moyen de diminuer cet élément de dépense? Nous le pensons; mais il faut cependant reconnaître que la méthode de grillage et réduction devra toujours exiger beaucoup plus de combustible que tous les autres procédés de traitement des minerais de plomb. On a quelquefois voulu comparer les résultats obtenus à Pontgibaud jusqu'en 1850 avec ceux de Vialas : la consommation en combustible, surtout de la fusion, est en effet beaucoup moindre dans la première usine que dans la seconde; mais les conditions sont bien différentes : avec un lit de fusion déjà pourvu de fondants énergiques, on passait une proportion de ferraille bien supérieure à celle qu'eût exigée la faible quantité de soufre restant dans le minerai; aussi se produisait-il peu de matte, et la presque totalité du fer devait agir comme désoxydant et comme combustible, tout en produisant un nouvel élément très-favorable à la fusibilité des charges. A Vialas, le seul réactif employé à la fusion et à la réduction est le coke, et la consommation nous paraît devoir être toujours plus grande dans ce cas que dans le premier. D'ailleurs la différence entre les frais de fusion, dans les deux cas, se réduit à très-peu de chose, si, comme de raison, on tient compte à Pontgibaud de la dépense en ferraille.

(1) Nous supposons là qu'elle ne dessert alors que le seul four à manche.

3e opération. Coupellation du plomb-d'œuvre.

La coupellation de Vialas n'offrant aucune particularité intéressante, nous la décrirons succinctement ainsi que les opérations complémentaires, comme *raffinage de l'argent* et *révivification des litharges.*

Principales dispositions du four de coupellation.

Le fourneau de coupellation est à sole circulaire fixe et à voûte mobile; les dimensions principales sont : diamètre, 2m,30; hauteur du couronnement de la sole, 0m,25 à 0m,30; hauteur de la voûte mobile au-dessus du point le plus bas de la sole, 1 mètre à 1m,10. Chauffe 0m,40 ou 0m,50 sur 2 mètres. Alimentée par de la houille, la grille est à 0m,40 ou 0m,45 au-dessous du pont. Le pont offre trois canaux de 0m,20 sur 0m,25 pour l'arrivée des flammes sur la sole : vis-à-vis, à l'autre extrémité du diamètre de la sole, sont deux rampants de 0m,10 sur 0m,20, aboutissant à un réservoir d'où les fumées s'échappent immédiatement par la cheminée.

Une seule tuyère est disposée à l'extrémité du dia-

mètre perpendiculaire à la ligne qui joint le pont et les rampants, et en face de la tuyère est la voie des litharges.

Travail de la coupellation.

Une opération complète de coupellation comprend les périodes suivantes :

Broyage des terres, façon de la coupelle, chargement et fusion; production des abstrichs, abzugs et litharges; éclair, refroidissement du four.

Le broyage des terres est fait à Vialas par des bocardiers spéciaux, à 1f,50 par 12 heures : pour 1mc,25 à 1mc,50 de terre nécessaire à une coupelle, on compte 3 journées de bocardier.

La destruction de l'ancienne coupelle et la confection de la neuve se font par les ouvriers mêmes attachés au travail de coupellation :

Ils enlèvent l'ancienne sole en deux parties : la partie supérieure, de 10 à 12 centimètres, forme les fonds de coupelle; la seconde, 15 centimètres, inférieure, peu ou point imbibée, est rebroyée, tamisée pour la confection de la nouvelle.

Terres neuves ou vieilles sont disposées par couches de 10 à 15 centimètres d'épaisseur, et convenablement humectées, dans des caisses en bois où elles séjournent de 12 à 24 heures, pour y laisser bien pénétrer l'humidité. Cette masse humectée est enfin découpée et jetée dans une dernière caisse, où ses parties sont uniformément mélangées, et, après ce travail, ces terres sont prêtes à la confection de la sole.

On commence par le battage de la voie des litharges : les terres y sont damées par petites couches successives. Cela fait, les ouvriers chargent à la fois toute la terre nécessaire à la formation de la sole, en l'accumulant surtout vers les bords, la dament et lui donnent la forme concave; enfin, après le damage, l'ouvrier, armé d'une truelle, polit la surface.

Pendant ce temps, la charge ordinaire de 7000 kilogrammes a été préparée près du four; quelques lingots ont été courbés pour former la base de la charge sur la sole; on jette quelque peu de paille et on y dispose les lingots, les uns après les autres.

Mise en feu.

Le chapeau mobile est abaissé et luté; on nettoie la grille des crasses de l'opération précédente, et on allume le feu avec du menu bois pour charger bientôt de la houille.

Période de fusion.

Supposons le feu allumé à 6 heures du soir, voici comment se suivent les diverses autres périodes de l'opération : la fusion des 7000 kilogrammes est complète à 2 heures du matin, soit 8 heures de durée. Quelquefois la fusion peut durer 10 heures, rarement 12 et 14 heures : cela peut arriver cependant, comme à une opération que nous avons suivie, où le plomb, chargé à 6 heures du soir, ne fut fondu que le lendemain à 7 heures du matin. Ces variations de durée sont dues à la mauvaise qualité de la houille dont on dispose à Vialas.

Arrivée du vent.

Admettons la fusion complète à 2 heures du matin. Le bain se recouvre d'une écume de plomb aigre que l'ouvrier remue de temps en temps, pour en activer la fusion. A 6 heures 1/2 du matin seulement, on donne le vent; à 9 heures, il reste encore un peu de plomb aigre, mais il s'est formé des abzugs qu'on écrème et fait sortir par la coulée, au moyen d'un râble en bois : cet écrémage dure jusqu'à midi.

Formation des abzugs et abstrichs.

A midi, les abstrichs apparaissent; on les fait couler en mince filet par la voie des litharges, qu'on abaisse peu à peu au moyen de petits ringards taillés en scies.

Formation des litharges.

A 3 heures, les litharges commencent à couler. Tout le travail consiste dès lors à détruire peu à peu la voie

des litharges et à maintenir le feu pour donner à l'oxyde de plomb la fluidité convenable.

Les litharges, à leur sortie, sont prises autant que possible quand elles sont encore sur la voie et jetées dans un four voisin en tôle, où elles se refroidissent lentement. On cherche à augmenter ainsi la proportion de litharges rouges.

A 11 heures du soir, les litharges ont diminué rapidement : à 11 heures 1/2, la dernière pellicule d'oxyde de plomb s'est dissipée, laissant le gâteau d'argent brut à nu. A ce moment, le feu a été supprimé, la grille débarrassée, et la plaque d'argent s'est figée peu à peu : les portes étant ouvertes et la buse soufflant toujours, on introduit deux ou trois sceaux d'eau qui boursouflent le gâteau et le refroidissent assez pour qu'on puisse l'enlever et le porter à la pesée.

Enlèvement du gâteau d'argent.

A minuit et demi l'opération était terminée.

Deux heures après la sortie du gâteau, on enlevait le chapeau et de l'eau, jetée de demi-heure en demi-heure, achevait le refroidissement : dans la journée suivante, on put faire la recherche des grenailles d'argent restées dans la sole ; après cette opération, on procéda à la démolition de la coupelle et à la confection de la nouvelle.

La coupellation dont nous venons de parler doit être regardée comme l'une des plus rapides qui aient été faites à Vialas. En général cette opération va moins vite : on admet une durée moyenne de 52 à 56 heures, depuis la mise en feu jusqu'à la sortie du gâteau d'argent, et voici la répartition de cette durée entre les diverses périodes :

Durée totale de la coupellation.

Fusion, 10 *heures ; production des abzugs*, 7 *heures ; production des abstrichs*, 6 *heures ; litharges sales*, 2 *heures ; litharges jaunes et rouges*, 28 *heures ; enlèvement du gâteau et premier refroidissement*, 3/4 *d'heure.*

Si à ces durées on ajoute encore une journée de deux ouvriers pour la démolition et le mouillage, un poste de 7 à 8 heures à trois ouvriers pour le battage de la coupelle, le pesage, le chargement, la mise en feu, on arrive à une durée totale de 75 heures environ, non compris encore le temps de refroidissement entre deux coupellations et celui nécessaire au broyage des terres.

Produits de la coupellation.

Les produits de la coupellation sont : *l'argent brut*, *les abzugs et abstrichs*, *les litharges impures*, *les litharges marchandes*, *les litharges riches*, *les fonds de coupelle*, *les fumées de coupellation.*

L'argent brut va au raffinage, après avoir été brossé et nettoyé avec soin à sa sortie du fourneau de coupelle.

Les abzugs et abstrichs sont des produits très-riches en plomb, mais contenant une notable proportion d'antimoine : ils rendent par voie sèche de 75 à 80 p. 100 de plomb ; on les repasse dans les lits de fusion aux fours à manche.

Les litharges impures ou sales sont un peu moins chargés d'antimoine que les abstrichs : elles sont, au moins partiellement, révivifiées avec une certaine quantité de litharges jaunes. Les fonds de coupelle retiennent beaucoup d'oxyde de plomb. mais, à part les portions retirées du centre de la coupelle, ils ne sont pas très-argentifères : par voie sèche, ils rendent 70 p. 100 de plomb-d'œuvre, qui tient 62 grammes d'argent au quintal ; la richesse du plomb-d'œuvre des abzugs et abstrichs est un peu plus faible.

Les fumées de coupellation sont très-incomplétement recueillies : composées d'oxyde et sulfate de plomb, d'un peu de carbonate de chaux, d'oxydes de fer et antimoine, elles rendent par voie sèche 63 p. 100 de plomb, contenant seulement des traces d'argent.

Préparation des litharges marchandes.

Les litharges marchandes se divisent en jaunes et rouges. Les premières de beaucoup les plus abondantes, sont aussi, comme on sait, les moins recherchées. Aussi a-t-on essayé à Vialas, comme dans presque toutes les usines à plomb, plusieurs moyens pour augmenter la production des litharges rouges en paillettes. On avait imaginé ici un réservoir en tôle, chauffé extérieurement par les flammes du four de coupelle, avec une ou deux ouvertures par lesquelles on jetait les litharges prises sur la coulée, pour les soumettre à un refroidissement lent. Cet appareil n'a pas eu grand succès et c'est facile à concevoir : les litharges, qu'on y portait figées, étaient déjà considérablement refroidies quand elles y arrivaient.

Nous passons aussi sous silence certaines dispositions par lesquelles les ouvriers prétendent augmenter la proportion des litharges rouges : jusqu'ici la quantité relative de ce produit est demeurée assez faible à Vialas.

Ce à quoi on devrait surtout songer, ce serait une séparation plus soignée des litharges jaunes et rouges : jusqu'ici on s'est borné à un triage par tamisage, sur un crible en fil de laiton, à six trous par centimètre carré. Les jaunes restent en fragments sur le crible et les paillettes rouges tombent dans une caisse spéciale.

Cette opération est incomplète et fort insalubre pour les ouvriers : par chaque coupellation, on compte que cette préparation pour l'emballage occupe deux journées d'ouvriers à 1f,50.

Avant de donner les produits et consommations, nous observerons que pour bien apprécier la coupellation de Vialas il faudrait d'abord pouvoir déterminer les conditions du soufflage et faire de nombreux essais sur les produits passés et recueillis, ce qui n'a jamais été tenté dans l'usine même ; pour nous, il ne nous serait possible

que de donner quelques essais isolés, qui ne permettraient qu'un jugement approximatif de cette partie du traitement métallurgique : nous nous bornons donc à consigner ici les résultats généraux.

Produits et consommations de la coupellation.

Le tableau suivant résume les produits et consommations pendant cinq années.

MATIÈRES et produits.	ANNÉES 1848-49.	1849-50.	1850-51.	1851-52.	1852-53.	TOTAUX.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Plomb-d'œuvre. . . .	204.270	232.255	214.110	284.650	296.470	1.231.755
Argent brut produit. .	717,580	823,150	855,590	1.032,625	1.133,915	4.562,870
Litharges rouges. . . .	43.240	50.339	46.390	48.000	48.900	235.669
Litharges jaunes. . . .	105.390	115.110	104.810	149.630	166.800	641.740
Litharges sales.	4.580	3.295	5.850	6.490	9.900	30.115
Abstrichs et abzugs. .	21.100	26.800	24 200	28.450	27.600	128.150
Fonds de coupelle. . .	non pesés.	»	»	»	»	»
Fumées de coupellation.	incomplétement recueillies et non pesées.	»	»	»	»	»
Houille consommée, non comprise celle de la machine à vapeur.	52.700	69.200	62.950	67.700	78.050	330.600

Du tableau précédent on conclura les moyennes suivantes :

Par 1.000 kilogrammes de plomb coupellé,

	kil.
Argent brut.	3,710
Litharges rouges.	192
Litharges jaunes.	520
Litharges sales.	25
Abstrichs et abzugs.	105
Combustible consommé.	268 kil.

Frais spéciaux par 1000 kilogr. de plomb coupellé et par 100 kilogr. de schlich brut.

Les frais spéciaux de la coupellation s'établissent comme il suit par 1,000 kilogrammes de plomb d'œuvre coupellé :

		fr.
Matériaux de coupelle.		6,00
Main-d'œuvre.	Broyage des terres.	5,21
	Démolition, mouillage.	
	Battage, mise en feu.	
	Coupellation proprement dite.	
	Préparation des litharges.	0.42
Prime aux ouvriers		1,71
Combustibles.	Fourneau de coupelle, 0^{t},268.	5,64
	Machine soufflante, 0^{t},200.	4,30
Entretien, usure des outils.		0,71
Entretien du fourneau de coupelle.		0,34
Gratifications aux ouvriers en journées de repos, menus frais divers.		0,50
	Total.	24,83

Pour rapporter ces frais au quintal de schlich brut, nous admettrons, comme il résulte des tableaux (pages 400 et 407), que 100 kilogrammes de schlich brut rendent à la fusion 48 à 52 pour 100 de plomb-d'œuvre; d'après cela, les frais de coupellation seraient de 1^{f},40 par quintal de schlich brut livré au traitement métallurgique.

Raffinage de l'argent brut.

Le raffinage de l'argent, longtemps exécuté à Villefort et à Vialas par une coupellation en petit, consiste simplement aujourd'hui en une fusion de l'argent brut avec addition d'une petite quantité de quartz, dans des creusets en graphite. Le gâteau d'argent impur, dont le poids varie entre 20 et 28 kilogrammes, est chargé en morceaux dans le creuset en plombagine et celui-ci porté dans un fourneau semblable à ceux usités dans les laboratoires pour les essais de fer et chauffé au coke. Cette opération est exécutée par l'ingénieur de l'établissement et, au besoin, par un surveillant : elle donne lieu à une somme de frais fort minime.

L'argent fin obtenu est coulé en lingots et livré au commerce au titre de 0,98 à 0,99.

Production totale en argent fin.

L'argent brut éprouve dans cette opération un déchet indiqué par le tableau suivant :

	ANNÉES					TOTAUX.
	1848-49.	1849-50.	1850-51.	1851-52.	1852-53.	
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Argent brut . . .	717,580	823,150	855,590	1.032,635	1.133,915	4.562,870
Argent fin. . . .	702,705	799,260	833,445	1.015,990	1.122,815	4.474,215

Moyenne du déchet = 1 à 2 pour 100 : cette perte de l'argent brut vient d'un peu de litharge qui le souille, à son arrivée au raffinage, mais aussi peut-être, d'un peu d'argent entraîné par la scorie de cette opération; on admet à Vialas que cette seconde cause de perte est insignifiante.

Révivification des litharges.

La révivification des litharges sales ou jaunes s'exécute dans les fours de grillage un peu modifiés à cet effet, surtout dans l'inclinaison de la sole vers la coulée.

Le principe de l'opération est une réduction de l'oxyde de plomb des litharges par le charbon de bois. On mélange donc les litharges et le charbon dans la proportion de 1,000 des premières pour 70 à 80 du second. Le mélange est introduit par la trémie de la voûte et étendu sur la sole. Le fondeur échauffe peu à peu la matière jusqu'au rouge, en laissant ouvert le trou de coulée, placé, comme au grillage, sous la porte du milieu. Après une heure ou deux de feu, le plomb commence à couler; l'ouvrier brasse ensuite de demi-heure en demi-heure; le plomb coule continuellement dans le bassin de réception, où il est protégé contre l'action de l'air par une couche de menu charbon.

Chaque opération dure, pour 1.000 kilogrammes de litharges, cinq heures et demie à six heures.

Les produits sont du *plomb doux* et des *crasses blanches* : le premier est lingoté et les secondes vont aux

fours à manche : le tableau suivant donne d'ailleurs les produits et consommations pour cinq ans.

	ANNÉES					TOTAUX.
	1848-49.	1849-50.	1850 51.	1851-52.	1852-53.	
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Litharges sales.	»	»	7.000	6.000	9.600	311.539
Litharges jaunes.	138.000	90.450	»	20.089	40.400	
Plomb produit. { Saumons de 40 kil.	2.391	62.776	4.320	18.000	39.612	220.348
Poids.	95 640					
Houille consommée.	12.900	11.250	1.550	3.550	7.250	36.500
Charbon de bois.	11.080	7.460	800	2.340	4.360	26.040
Crasses blanchies.	10.555	6.640	1.770	2.805	5.405	27.175

En moyenne, 1.000 kilogrammes de litharges jaunes ou sales ont donc produit : 700 à 710 kilogrammes de *plomb doux;* 87 kilogrammes de *crasses blanches* vraisemblablement encore assez riches; mais comme elles sont repassées aux fours à manche dans les lits de fusion ordinaires, leur rendement n'est pas susceptible d'être évalué; par suite aussi il devient impossible d'apprécier la perte due au travail de révivification.

La consommation moyenne en combustible a été par 1.000 kilogrammes de litharges révivifiées : houille, 117 kilogrammes; charbon de bois, 83 kilogrammes.

Enfin, la main-d'œuvre est par 1.000 kilogrammes de litharges $0^f,75$ à $1^f,75$.

Les frais spéciaux, par tonne de litharges révivifiées, sont donc :

	fr.
Charbon de bois, 83^k à 6^f le quintal.	4,51
Houille, 117^k à $2^f,15$ le quintal.	2,51
Main-d'œuvre, $0^f,75$ à $1^f,75$.	1,31
Entretien, usure des outils, réparations des fours.	0,25
Total.	9,05

En admettant la moyenne de 50 à 60.000 kilogrammes de litharges révivifiées chaque année, ce travail donnerait lieu à une dépense moyenne de $0^f,10$ par quintal de schlich livré au traitement métallurgique.

Des tableaux donnés pages 400, 407, 419, 421 et 422, il résulte que 100 kilogrammes de schlich livré à la fonderie ont produit :

Plomb doux.	8,95
Litharges jaunes. . . .	12,85
— rouges. . . .	9,60
Argent fin.	182,00

Et d'après les rendements consignés page 590 le quintal de schlichs tenait :

Plomb.	48 à 52 kil.
Argent.	190 à 200 gr.

Personnel de la fonderie.

La fonderie occupe 6 grilleurs, 3 maîtres fondeurs et coupelleurs, 9 aides; 6 ou 7 manœuvres; tant pour la fonderie que pour quelques ateliers qui en dépendent. Ce personnel est occupé dix à onze mois pleins; chaque année.

Personnel total de Vialas.

En réunissant les personnels des mines, ateliers et fonderie, on arrive à un total de 200 à 220 ouvriers. A ce nombre il faut ajouter les ouvriers à l'année, c'est-à-dire 2 maçons ($2^f,25$ et $2^f,50$ par jour); 4 menuisiers ($1^f,75$ à $2^f,50$); 2 forgerons ($2^f,50$); 2 aides à 1 franc, enfin 4 rouliers aux transports et un gamin au courrier : soit 15 ouvriers spéciaux et, en tout, pour l'affaire de Vialas, 215 à 235. On compte augmenter beaucoup ce personnel, d'ici à quelque temps.

Le personnel de la direction et de la surveillance se compose de 1 directeur aux appointements de 6,000 fr. avec intérêts dans les bénéfices; 1 ingénieur à 1,800 fr.; 1 comptable à 1,500 francs; 1 grand-maître mineur à 1,000 francs; 3 sous-maîtres mineurs (2,000 francs les 3); 1 garde-magasin 1,000 francs; 1 sous-surveillant 700 francs; 1 caissier pour la vente des produits

2,400 francs. Un médecin attaché à l'entreprise reçoit 600 francs, de la compagnie et autant de la caisse de secours.

Une caisse de secours est alimentée par une retenue de 2 1/2 p. 100 sur les salaires d'ouvriers et par les amendes prononcées contre eux. Elle paye 600 francs au médecin, les secours aux ouvriers par chaque jour de maladie constatée et enfin les remèdes fournis par l'administration. La caisse est régie par un conseil composé de 3 mineurs, 3 fondeurs (tous six élus par les ouvriers); des maîtres mineurs, du directeur, de l'ingénieur et du médecin. Ce conseil vote les pensions tous les trois mois.

Renseignements économiques sur les résultats de l'entreprise.

En adoptant le rendement de 80 kilogrammes de schlich par mètre cube d'exploitation, voici quels seraient les frais moyens *par quintal de schlich*, de 1848 à 1853:

Exploitation 14 à 16 francs; *lavage et transports extérieurs* 2 à 3 francs; *traitement métallurgique* 7 à 8 francs, y compris certains frais additionnels dont nous n'avions pas tenu compte, dans l'établissement des frais afférents à chaque opération.

Au total, les frais spéciaux seraient de 23 à 27 francs et en y ajoutant 4 ou 5 francs de frais généraux, les dépenses par *quintal de schlich* seraient de 27 à 32 francs.

En adoptant aussi le rendement moyen donné plus haut, on peut admettre 50 à 55 francs comme produit en argent du quintal de schlich. La différence ou produit net serait donc en moyenne de 23 francs.

Avenir de Vialas.

Ce produit net est appelé à desservir l'intérêt des capitaux engagés, après prélèvement des intérêts attribués au directeur et des sommes nécessaires au développement et à l'avenir de l'entreprise. Malgré l'importance de ces dernières réserves, à la fin de

l'exercice 1852-53, l'intérêt des capitaux engagés a atteint un chiffre comparable à celui des bonnes affaires industrielles: on peut donc regarder les mines de Vialas comme parvenues à une prospérité croissante. Mais, en présence de l'importance des capitaux à desservir, il est de l'intérêt bien entendu de la compagnie de développer son entreprise.

Nous avons vu, en effet, que la richesse des filons se soutient bien: c'est là une circonstance qui doit encourager à étudier, dans l'intérieur des mines, bon nombre de points qui ne le sont pas assez; il serait très-certainement possible d'aménager les travaux de manière à développer beaucoup l'exploitation et à l'établir dans des conditions très-économiques.

Mais à ce développement des mines s'opposerait la capacité restreinte des ateliers et de la fonderie. Cette dernière partie de l'établissement devra être modifiée par cette première raison; nous insisterons sur ce sujet, à la fin de notre mémoire. Ici, nous rappellerons que même ne songeât-on pas au développement de l'entreprise, il faudrait faire des changements indispensables aux ateliers de préparation et à la fonderie: pour les premiers, nous avons déjà dit comment, sans s'engager dans des dépenses exagérées, on pourrait peu à peu modifier les appareils et le travail, de manière à éviter les pertes qu'on y éprouve. Quant aux appareils métallurgiques, ils sont loin de satisfaire aux exigences d'un travail économique. Tout cela a été compris de la direction, mais les dispositions locales sont loin d'être favorables aux améliorations: cela amène donc naturellement à l'idée de translation de la fonderie dont nous traiterons plus loin. Le plus urgent, toutefois, nous le rappelons encore, ce sont les travaux d'étude et d'aménagement des mines.

CHAPITRE II.

§ I. *Concession de Bluech et Pradal.*

Histoire des mines de Bluech.

Les mines de Bluech furent exploitées avec quelque développement à une époque très-ancienne, sur la date de laquelle on n'a aucun renseignement précis : quelque temps avant la révolution de 89, de nouveaux explorateurs entreprirent la mise en exploitation de ce gîte si puissant et, en relevant quelques galeries déjà ouvertes, ils furent conduits dans un dédale de travaux considérables, qu'on attribua aux Romains: arrêté par ces anciens travaux, on avait aussitôt commencé de nouveaux ouvrages en contre-bas des premiers, entrepris l'abattage de quelques rognons de minerai laissés par les anciens. Les explorateurs de cette époque, à la tête desquels se trouvait la dame Morot de Grésigny, avaient, en même temps que le gîte de Bluech, attaqué les filons de Pradal, et ils s'étaient empressés de construire des bocards, laveries et fonderies, entre Pradal et Bluech, sur les bords de la Memente. Nous n'avons aucune donnée certaine, ni sur les sommes dépensées par la dame de Grésigny, ni sur les résultats obtenus pendant les quelques années que dura la société qu'elle avait formée. Les documents que nous avons pu nous procurer rapportent seulement qu'en 1793, les entrepreneurs avaient déjà fait de grandes avances, sans retirer autre chose que *des espérances ;* les travaux sur le gîte le plus important, celui de Bluech, n'avaient pu être conduits avec la vigueur nécessaire, par suite encore ici, de la dissémination des ressources disponibles sur trop de points à la fois. Les travaux d'avenir indiqués par la nature du gîte et par la disposition des lieux

avaient été projetés, mais non exécutés. Survinrent les événements de 1793 et 1794, qui forcèrent la plupart des intéressés à émigrer. Leur départ entraînait l'abandon complet de l'établissement.

En 1841, bien après l'expiration de la première concession, ces mines furent de nouveau concédées à MM. *Daudé*, *de Ladevèze* et *Larguier*. De 1841 à 1849, faute de capitaux, les travaux exécutés sont à peu près insignifiants. On se borne à relever quelques-unes des anciennes galeries, mais sans aucun projet arrêté. En 1849, un fermier des concessionnaires entreprend l'exploitation ; mais jusqu'en 1850, il n'exécute aucun travail sérieux, se bornant à grapiller çà et là dans les anciens ouvrages.

En septembre 1850, les propriétaires traitent avec une société en commandite qui s'engage à mettre les mines en exploitation et à payer aux premiers un tiers des bénéfices, avec un minimum de 1.500 fr., pour chacune des deux premières années. Au début de la société en commandite, des fonds étaient promis par les associés, mais ils n'ont pas été versés. M. Bonnard, l'un des gérants commandités, chargé de la direction des travaux, reste à peu près seul et livré à ses propres ressources. Dans ces conditions, les sommes disponibles eussent pu au moins être appliquées à l'aménagement du gîte; elles auraient suffi, sinon à préparer l'avenir de l'exploitation, au moins à reconnaître la richesse en profondeur et à faciliter l'accès des capitaux pour le développement ultérieur de l'entreprise; malheureusement, il n'en fut pas ainsi : les premières galeries commencées au milieu des anciens ouvrages ayant donné quelques quintaux de minerai, des appareils de préparation mécanique furent installés à grands frais, à la sortie même de la mine, où l'on n'avait ni emplace-

ment, ni force motrice. Les travaux, pendant ce temps, étaient disséminés çà et là sans ensemble et sans but déterminé.

Le personnel attaché à cette exploitation, beaucoup trop nombreux pour l'état de la mine, n'était d'ailleurs pas habitué à ces sortes de travaux ; il est facile de concevoir les résultats de l'entreprise, en pareilles circonstances. En 1853, outre les sommes, peu considérables il est vrai, dépensées par les concessionnaires de 1840 à 1849, 60 à 75,000 francs, fournis par la société en commandite, avaient été absorbés par la mine de Bluech et le gîte n'était pas beaucoup mieux connu qu'en 1794 ; il n'y avait pas un seul chantier préparé, les quelques galeries nouvellement ouvertes s'étant perdues au milieu des anciens travaux.

Depuis cette époque jusqu'aujourd'hui, l'état de la mine n'a pas sensiblement changé ; mais les avances se sont au contraire accrues.

Après avoir signalé les causes de l'état de langueur où se trouve la mine de *Bluech*, nous examinerons les travaux qui y ont été faits ; nous résumerons les conditions dans lesquelles elle est placée, afin de montrer quel parti on peut en espérer.

Travaux entrepris par les exploitants de 1789. (Pl. X, *fig.* 1 et 2).

Tout autour de la portion de l'affleurement, appelée *la Quille*, on trouve, à la surface, des puits ou descenderies par lesquels les premiers exploitants de cette mine ont pénétré en profondeur ; on n'est pas encore parvenu jusqu'ici à déblayer l'entrée de ces vieux travaux ; pourtant on en a fait assez pour reconnaître que dans cette région ouest du filon, les veines devaient être très-riches en minerai. En effet, il est indubitable que les tranchées et puits à jour de la Quille correspondent avec les excavations si considérables qu'ont rencontrées les concessionnaires de 1794 ou les exploitants actuels,

en suivant le filon de l'est à l'ouest à partir du ravin de la mine. Or, ce qui prouve la richesse du gîte dans cette partie de son étendue, c'est que les ouvrages en descente, si difficiles avec les moyens dont disposaient les anciens, sont arrivés à une profondeur de 60 à 80 mètres, et peut-être plus au-dessous du jour. D'ailleurs, nous allons voir que les travaux plus modernes ont montré qu'en effet le filon s'enrichit de l'est à l'ouest et que les seules parties fructueusement exploitables se sont trouvées dans le voisinage de la Quille.

Les concessionnaires de cette époque n'avaient probablement aucun renseignement sur l'étendue des *anciens travaux ;* les supposant beaucoup moins profonds, ils continuèrent d'abord une galerie de niveau dite *Saint-Jean* (n° 1) déjà commencée antérieurement. Elle aboutit aux excavations *romaines* à 90 ou 100 mètres de son entrée, c'est-à-dire du ravin de la mine. Une deuxième galerie de niveau fut entreprise à 8 ou 10 mètres au-dessous de la première, c'est la galerie (n° 2) ou *Saint-Paul ;* elle fut prise sur la gauche du ravin de la mine, en traverse du sud au nord, de 20 mètres environ ; à cette distance, elle rencontra l'une des veines du filon qu'elle suivit à l'ouest, sur 125 mètres, arrivant ainsi sous la Quille et au milieu des déblais anciens. Effrayés de l'étendue que paraissaient occuper les travaux romains, les exploitants ne prolongèrent pas les galeries *Saint-Jean* et *Saint-Paul ;* ils les relièrent par plusieurs puits et cheminées et entamèrent l'abattage sur quelques points de leur parcours. En même temps, on dirigea sur ce filon, un nouveau percement à 16 mètres au-dessous de la galerie *Saint-Paul.* Ce percement (n° 3) vint recouper toute l'épaisseur du gîte et par un prolongement à l'ouest, sur l'une des veines, on arriva à l'aplomb d'un puits *Saint-Paul*, foncé au sol de la galerie n° 2.

Or, quelques mètres à l'ouest de ce puits, on retombait dans les anciens travaux qu'on ne s'attendait plus à rencontrer à cette profondeur. L'abondance des eaux, le peu de solidité et l'étendue des vieux ouvrages, arrêtèrent encore les exploitants à ce niveau, comme aux autres, à peu près sous la Quille. Les eaux gênant considérablement pour étudier le gîte, au moins sous le puits *Saint-Paul*, on entreprit à l'ouest du percement n° 3 la galerie l'*Espérance*, un peu plus basse que le fond du puits *Saint-Paul*. Elle suivit une veine schisteuse au mur du filon. A 60 mètres environ du percement, elle fut mise en communication avec le fond du puits *Saint-Paul*. Enfin à l'extrémité de cette galerie de l'*Espérance*, on fonça le *puits de l'Espérance* de 16 à 17 mètres, dans une région inférieure aux travaux précédents et où l'on supposait le filon vierge. Ce puits était placé au mur des veines minérales reconnues ou exploitées aux niveaux supérieurs; on avait donc, au fond, commencé une traverse du sud au nord, en recherche des veines minérales; mais les eaux qui affluaient abondamment des anciens travaux forcèrent de l'abandonner, malgré les belles apparences déjà rencontrées.

Les choses restaient donc en cet état vers 1793 ou 1794; les recherches entreprises étaient bien conçues, et l'ignorance où l'on était de l'étendue des travaux romains justifie jusqu'à un certain point la disposition des ouvrages; pourtant, en étudiant un peu mieux les affleurements et la richesse au jour des veines minérales, on eût pu éviter au moins la longue galerie *Saint-Paul* qui, comme la galerie *Saint-Jean*, n'a rien donné sur la portion Est de son parcours, et, en tous cas, était trop rapprochée de cette dernière. De même, avant d'entreprendre le percement n° 3, à 16 mètres seulement au-dessus du 2e, on aurait dû sonder un peu les

anciens travaux, à l'extrémité de la galerie *Saint-Paul*, et chercher à quelle profondeur on pouvait espérer rencontrer le filon intact, pour y placer le percement n° 3.

Quoi qu'il en soit, on était arrivé, en 1793, à reconnaître la nécessité d'un grand percement partant des bords du *Martinet-Ruis*, à 50 ou 60 mètres au-dessous du n° 3. Les circonstances signalées plus haut ne permirent pas l'exécution de ce projet.

Allure et richesse des veines minérales reconnues en 1793.

Quant aux produits retirés des divers travaux dont nous venons de parler, ils n'ont pas été très-considérables. Le long de la galerie *Saint-Jean* (n° 1), on a suivi une veine barytique donnant quelque peu de minerai çà et là. Mais, à l'extrémité ouest de cette galerie, se trouvaient des travaux considérables partiellement remblayés. La galerie *Saint-Paul*, qui a suivi la même veine, a présenté la même pauvreté, excepté vers l'ouest, où, aux environs du *puits Saint-Paul*, les anciens avaient laissé un beau rognon de minerai. Au niveau du percement n° 3, la traverse du nord au sud, perpendiculaire à la direction du gîte, y a découvert trois ou quatre veines minérales; on n'en a suivi que deux : l'une au nord, par la galerie du fond du *puits Saint-Paul*; l'autre au sud, par la galerie de l'*Espérance*. La première a donné quelques gradins dans la partie est, mais peu développés; à l'ouest du percement, elle n'a rien donné pendant 30 à 40 mètres; à cette distance, on est revenu en traverse du nord au sud sur la veine du milieu, suivie aux deux étages supérieurs; on s'est avancé ainsi jusqu'aux travaux romains; à l'aplomb du puits *Saint-Paul*, on trouvait du minerai très-exploitable. Il résulte donc de ce qui précède que le filon paraît s'enrichir à mesure qu'on se rapproche des travaux romains, comme nous l'avons déjà annoncé plus haut.

Travaux exécutés de 1840 à 1854.

Les documents où nous avons puisé les renseignements qui précèdent, sur l'état de la mine en 1794, renfermaient des indications précieuses pour les nouveaux concessionnaires de 1841. Pour une mise en exploitation sérieuse, la marche à suivre était indiquée par les résultats de la première entreprise. Mais, nous l'avons dit plus haut, le défaut de capitaux arrêta tout projet d'ensemble; les anciennes galeries furent de nouveau relevées pour aboutir aux travaux romains; quelques coups de mine furent tirés sur les points où les anciens avaient laissé quelque peu de galène. La société en commandite continua ce déblaiement des anciens travaux, et pénétrant dans leurs excavations plus ou moins bien remblayées, elle trouva çà et là des petits massifs à abattre. Il a été fait pourtant, depuis 1850, quelques travaux neufs.

Le percement n° 3 de 1794 avait traversé la veine médiane suivie aux étages supérieurs; mais on ne s'y était étendu en direction, ni à l'ouest, ni à l'est; la galerie du fond du *puits Saint-Paul* ne l'avait retrouvée que vers l'ouest, un peu avant le *puits Saint-Paul*. Dans ces derniers temps, on a suivi cette branche du filon avec avantage; car c'est là qu'on a pu établir, un peu à l'est des puits de l'*Espérance* et *Saint-Paul*, une exploitation en gradins assez productive; malheureusement, soit inhabileté, soit mauvaise foi, les ouvriers s'égarèrent et suivirent des veines schisteuses d'un abattage plus facile que la roche du filon.

La galerie d'allongement ainsi ouverte sur la veine du milieu a été poursuivie à l'ouest jusque dans les travaux romains, dont on a constaté de nouveau le prolongement au-dessous de ce niveau.

Enfin, on est rentré dans le puits de l'*Espérance*, et on a poursuivi au fond la traverse du sud au nord, destinée à recouper les veines minérales exploitées au-dessus; mais après avoir trouvé une première veine, les ouvriers la laissèrent pour poursuivre au nord, où ils *assuraient* devoir trouver la branche principale du filon.

Il était impossible, en 1852 et 1853, de ne rien conclure de plus que ce qui a été dit plus haut sur l'allure des veines minérales; les prolongements des galeries anciennes ou nouvelles, dans les travaux romains sous la Quille, avaient découvert des ouvrages en zig-zags multipliés; plusieurs veines se réunissent peut-être dans cette partie riche du gîte : peut-être aussi n'est-ce qu'un renflement de puissance, comme on en voit tout le long de l'affleurement.

Prolongements du filon de Bluech.

Jusqu'ici nous n'avons parlé que de la partie du filon où se sont concentrés les travaux anciens et appelée *mine de Bluech*. Mais, comme nous l'avons dit dans notre étude des affleurements (tome VI, 1854), le filon se poursuit jusqu'à la *Memente*, à l'ouest, et jusqu'à *Saint-Privat de Vallongue*, à l'est. Sur le prolongement ouest, nous ne connaissons aucune attaque, tandis qu'à l'est bon nombre de points ont été fouillés; mais les galeries ou puits à jour sont remblayés, et nous ignorons les résultats obtenus. Toutefois, un travail récent, entrepris près du village de *Bluech* même, a reconnu un filon de 6 à 8 mètres de puissance, divisé, comme à la mine, en plusieurs branches barytiques ou quartzeuses; on en a retiré de très-beau minerai.

Résumé sur la valeur du gîte de Bluech.

En résumé, comme gîte métallifère, le filon de Bluech offre les plus belles apparences, tant par la puissance et la continuité que par le nombre des veines minérales qui se montrent aux affleurements. Les travaux anciens y sont descendus du jour à une profondeur trop grande pour ne pas admettre que le minerai était très-abondant dans les environs de la Quille; les travaux plus

récents ont, au reste, confirmé cette opinion. D'un autre côté, il est, sur la longueur visible de l'affleurement, plus d'un point comparable à la Quille ; et les vestiges d'anciens travaux qu'on y trouve sont autant de preuves de la richesse minérale de ce filon.

Richesse du minerai en argent.

Le minerai de Bluech est de plus assez riche en argent pour compenser quelques désavantages de situation du gîte ; cet élément paraît avoir varié avec la nature des gangues (comme il a été dit ailleurs) ; mais sur 16.390 kilogrammes livrés aux usines en 1849, 1850, 1851 et 1852, la moyenne a été de 400 grammes au quintal de plomb d'œuvre.

Principales circonstances favorables ou défavorables à la mise en exploitation.

Le but de notre travail ne nous permet pas de donner ici un projet de mise en exploitation ; nous indiquerons seulement encore les principales circonstances favorables ou défavorables à l'exploitation de ce gîte. La crête du filon est élevée, sur presque toute sa longueur, de 50 à 100 mètres au-dessus du *Martine-Ruis*, l'une des branches du *Gardon*. Il sera donc possible d'explorer le gîte par galeries de niveau, sans craindre les difficultés de l'épuisement, de l'extraction et de l'aérage par puits.

Le minerai extrait sera facilement amené en un ou deux points, où la vallée élargie permet l'installation d'ateliers de préparation mécanique ; l'eau nécessaire, soit au lavage, soit comme force motrice, se trouvera assez abondante, si l'on choisit convenablement l'emplacement des ateliers. En tous cas, la distance de la mine aux ateliers ne pourra jamais être bien grande.

D'un autre côté, les bois coûteront assez cher ; mais en voyant comme les travaux de 1792 se sont bien conservés, on peut croire que cette mine n'en consommera pas énormément et d'ailleurs, on serait dans des conditions analogues à celles de *Vialas*. Ce qui paraît, au

premier abord, le plus défavorable à l'exploitation de ce filon, c'est la difficulté des transports. Il est impossible de songer à établir une fonderie près des mines et, le pays ne produisant rien de ce qui sera nécessaire à l'exploitation, on aura donc, à la fois ; à effectuer les transports de vivres, de bois, poudre, outils, etc., et le transport du minerai aux fonderies. Si l'on se base sur ce qui a été fait précédemment, il est certain que ce serait là une difficulté réelle. Mais nous n'admettons pas qu'on suive la route usitée jusqu'ici, pas plus qu'on transporte le minerai à *Marseille* ou à *Vienne* (Dauphiné). Il est plusieurs moyens de parer à ces conditions défavorables, nous y reviendrons un peu plus bas.

Filons du Castenet et de Pradal.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons considéré que le filon de *Bluech ;* mais il convient d'ajouter quelques mots sur les autres ressources qu'on trouverait dans la concession de *Bluech* et *Pradal.*

Le filon du *Castenet* n'a jamais été convenablement exploré et pourtant il paraît de même nature que celui de *Bluech ;* très-puissant, il est visible sur une grande étendue ; il traverse d'ailleurs des ravins profonds (ceux des *Jonquiès* et de la *Martinerie*), où il serait facile de l'explorer, dans les mêmes conditions que *Bluech.*

D'un autre côté, nous regardons comme très-probable, qu'une fois ces grands filons attaqués, plusieurs veines latérales disséminées dans l'espace qui les sépare, pourraient à leur tour être fouillées avec avantage.

Quant aux filons de Pradal, les apparences de la surface ne sont pas très-satisfaisantes ; si l'on voulait y tenter quelques fouilles, il faudrait là commencer par bien étudier les quelques galeries ouvertes un peu avant 1792.

§ II. *Concession de Bédouès et Cocurès.*

Histoire de la concession de Bédouès et Cocurès.

Malgré le grand nombre d'affleurements que renferme cette concession, les traces d'anciens travaux y sont rares. A part quelques ouvrages peu développés sur les filons de la *Baume* et sur ceux du *Tourel*, on ne trouve aucun indice du passage d'anciens mineurs dans cette région. Cela s'explique aisément, quand on sait la manière dont les anciens attaquaient les gîtes métallifères; ne s'attachant qu'aux veines épaisses dès la surface, ils suivaient les filets métalliques aussi loin en profondeur, que le leur permettaient leurs moyens d'épuisement et d'extraction. Or, les affleurements généralement minces, mais multipliés de *Bédouès* et *Cocurès* devaient leur sembler inexploitables, surtout quand, n'exploitant que pour alquifoux, ils en trouvaient, non loin de là, des gisements abondants et faciles à atteindre (quartier des *Bondons*).

La concession de *Bédouès* et *Cocurès* ne date que de 1849. Elle a été accordée à MM. *Borelli*, *Borelli de Serres* et *Marcé*. Les seuls travaux entrepris par les concessionnaires l'ont été avant l'acte de concession; ils consistent en fouilles très-peu développées, le plus souvent en galeries ou tranchées à ciel ouvert de peu de longueur, par lesquelles on a dénudé les affleurements : on a à peine déblayé et prolongé, de quelques mètres, les anciennes galeries de la *Baume* et du *Tourel*. De la date de la concession jusqu'en 1853, il n'a été à peu près rien fait par les concessionnaires. En 1853, cependant, une société, organisée pour l'exploitation des mines métalliques des Cévennes, achète la concession, y compris quelques lambeaux de terrains, au chiffre énorme de 100 et quelques mille francs. Depuis

cette époque jusqu'aujourd'hui, rien n'a encore été entrepris par les nouveaux propriétaires.

Ce qui a été fait et ce qu'il conviendrait de faire pour tirer parti de ces mines.

Nous ne pouvons ici qu'indiquer sommairement dans quelles circonstances se trouvent les gîtes de *Cocurès* et *Bédouès*, au point de vue de leur mise en exploration. Il nous semble nécessaire de recommander la plus grande prudence, surtout après le début de l'entreprise qui nous paraît le prélude d'erreurs trop communes en ces sortes de spéculations. Que la somme de 100 mille francs ait été ou non *payée intégralement* pour l'acquisition, ce capital, quelque exagéré qu'il soit eu égard à la valeur actuelle de la concession, n'en restera pas moins une charge, lors de la constitution définitive de la société. Il convient alors de ne pas multiplier les avances nécessaires à la marche de l'entreprise, et de ne songer, pour le moment, qu'à des *travaux d'exploration.*

La position des gîtes sur les bords immédiats du Tarn, sur les flancs des collines en général peu élevées, rendra l'exploitation en profondeur un peu plus difficile sur certains points que sur d'autres; ainsi, il ne sera pas possible de pratiquer longtemps des galeries à jour sur les filons de la *Baume*, du *Quartier des peupliers*, des *Agudes*, *de la Descente;* au contraire, on aura toutes facilités à ce point de vue, pour l'exploration et même pour l'exploitation des filons de *Roussouneinc*. En général, il sera bon d'explorer les points où il est possible d'atteindre par galeries, et notamment *Roussouneinc* et la *Baume*, qui d'ailleurs, après les *Peupliers*, sont les points de plus belle apparence.

La nécessité des puits d'extraction et d'épuisement est, pour l'avenir, compensée par le voisinage du Tarn, dont le régime assez régulier promet une force suffisante pour la préparation mécanique et pour les roues

hydrauliques, nécessaires à l'exploitation. Les mines sont d'ailleurs placées dans une des contrées de la Lozère, où la vie est la plus facile; les bras ne manqueront pas, car tous les ans un grand nombre d'ouvriers descendent des montagnes, vers les Cévennes, à la recherche d'un travail qu'ils ne trouvent pas chez eux. Parmi ces ouvriers, on en trouverait beaucoup qui ont déjà travaillé aux mines d'alquifoux. Les bois pour travaux de mines et constructions, seront ici d'un arrivage plus facile qu'à *Bluech* et au moins à aussi bon marché qu'à *Vialas*. Quant aux autres matières premières nécessaires à l'exploitation, on sera dans le même cas que dans les mines précédentes, avec la différence pourtant que les frais de transport seront plus considérables encore.

Comme dernière circonstance à signaler, au sujet de la mise en exploitation, nous dirons que pour la plupart des filons de la concession, les dégats de surface et les achats ou indemnités de terrains seront coûteux, en raison de leur proximité des terres cultivées.

De cette discussion rapide des circonstances locales, dans lesquelles se trouve la concession de *Bédouès Cocurès*, il résulte qu'à égalité de *richesse des filons*, l'exploitation proprement dite sera, selon toute probabilité, plus chère qu'à Vialas et même qu'à *Bluech*. En examinant maintenant la question de la préparation et du traitement du minerai, l'infériorité de *Bédouès* et *Cocurès* semble encore plus grande.

Il est ici impossible, comme à *Bluech*, d'établir une fonderie sur les lieux; les combustibles végétaux sont trop rares dans la contrée même, et les transports de combustibles minéraux du bassin d'*Alais*, joints à celui des produits sur le midi, dépasseraient de beaucoup le

transport unique des minerais jusqu'à une fonderie placée près de la houille. Aussi, les seuls ateliers à construire, *un peu plus tard*, seront destinés à la préparation mécanique. La seule difficulté viendra des achats et de l'appropriation des terrains; mais à elle seule, il est probable qu'elle augmentera sensiblement les frais d'installation.

Question des transports pour Bluech, Bédouès et Cocurès

Reste à examiner la question du transport des minerais préparés jusqu'au bassin houiller, et en général des transports de matériaux nécessaires à l'exploitation, et qui viendront le plus souvent des environs d'*Alais* ou de *Portes*. Ici, comme à *Bluech*, les distances à parcourir sont très-grandes, eu égard à l'état actuel des communications. La voie qui, pour *Bédouès* et *Cocurès*, paraît être jusqu'ici la plus courte, serait la route départementale de *Florac* à *Pont-de-Montvert* et à Portes; mais elle est mauvaise et impraticable, à certains moments de l'année, surtout entre *Florac* et le *Pont-de-Montvert*: autrement elle passe au milieu de gîtes et offrirait un écoulement naturel à leurs produits. Il serait peut-être possible d'éviter le détour long et difficile que fait cette route sur *Fraissinet* de *Lozère* et *Pont-de-Montvert*, en ouvrant un chemin de service des mines, qui, passant par *Mirales*, *Rampon*, *Grisac*, irait rejoindre la route de *Portes* à *Chapelle* et *Chamlong* de *Lozère*. A partir de ces derniers points, la route jusqu'à *Portes* serait très-praticable. Quant à *Bluech*, l'écoulement le plus naturel de ses minerais est également sur Portes et par la même voie; *dans l'état actuel des communications*, il est en effet aussi facile, et peut-être plus, de gagner de *Bluech* la vallée de la *Memente* et le col de *Saint-Maurice* où passe la route de *Portes*, que d'aller, comme aujourd'hui, de la mine au hameau des *Aires*, joindre la route du *Rey à*

Alais; d'ailleurs, la distance à parcourir ensuite de *Saint-Maurice* à *Portes* est plus petite que des *Aires* à *Alais*. La communication de *Bluech* avec la route de *Portes* pourrait encore être tentée par *Saint-Privat*, *Saint-Frézat* et l'*Espinasse*. Enfin, pour plusieurs raisons sur lesquelles nous reviendrons plus loin, Portes convient peut-être mieux qu'*Alais* pour l'établissement d'une usine centrale.

Une route plus commode et plus courte pourrait cependant être ouverte aux produits de *Bédouès*, de *Cocurès* et de *Bluech* : ce serait celle qui a été projetée plusieurs fois entre *Florac* et Alais, et qui, partant de Florac, suivrait d'abord le *Tarnon*, puis la Memente jusqu'au col de *Jalcreste;* traversant ce col si étroit, près des mines de *Bluech*, elle suivrait ensuite le *Gardon-du-Collet* pour aller joindre à la *Levade* ou à la *Grand' Combe*, la tête des chemins de fer du midi. Notons en passant que ce projet n'est pas seulement avantageux au point de vue des mines, mais encore que, sous beaucoup de rapports, le département de la *Lozère* ne pourrait que gagner à son exécution. Les détours et les rampes de cette voie de communication seraient très-faibles, et les frais de roulage, entre *Florac* et le midi, seraient considérablement amoindris. Malgré tant d'avantages, la faiblesse des ressources départementales dans la Lozère ne permet pas d'espérer de longtemps peut-être la solution de cette question; les dépenses d'un pareil travail sont d'ailleurs au-dessus de ce que peuvent des sociétés de mines; il nous paraît donc probable que la première voie dont nous avons parlé plus haut sera pendant longtemps la seule pour les produits de l'exploitation de *Bédouès* et de *Bluech*, mais, dans tous les cas, la première devra compter sur plus de frais de transport que *Vialas* et *Bluech*.

Résumé sur Bédouès et Cocurès.

En résumé, nous le disons encore, on ne saurait trop recommander la prudence pour la mise en exploitation de *Cocurès* et *Bédouès :* les apparences sont très-belles sur la plupart des filons; le nombre des veines paraît très-grand; elles se réunissent et se croisent souvent, et vraisemblablement correspondent à un nombre limité de filons en profondeur. Le minerai retiré des premières fouilles a donné une teneur moyenne de 300 à 350 grammes d'argent au quintal de plomb-d'œuvre; la galène apparaît souvent en nids qui donneront peut-être beaucoup de minerai massif. Voilà certes des éléments de succès qui balancent les inconvénients que nous avons signalés; mais ceux-ci n'en subsistent pas moins, et il faut se garder de les aggraver par des dépenses exagérées au début de l'entreprise, par des travaux inutiles ou trop hâtifs; enfin, et par-dessus tout, il faut craindre d'attribuer à une concession inexplorée une valeur trop élevée. Sous ces réserves, l'exploitation des gîtes de *Bédouès* et *Cocurès* nous paraît devoir inspirer des espérances légitimes.

§ III. *Gisements d'alquifoux. Quelques filons isolés.*

Abondance des gîtes d'alquifoux, non concédés et irrégulièrement exploités par les paysans.

Il est peu de contrées où l'alquifoux se montre aussi répandu que sur les pentes de la Lozère; aussi, aux époques où, comme sous la république et sous le premier empire, les matières plombeuses étaient d'un prix élevé, les paysans de ces montagnes se sont fructueusement livrés à l'exploitation de ces gîtes. D'anciennes haldes de scories annoncent même qu'à l'époque où des forêts étendues couvraient les monts Lozère, on a dû traiter pour plomb ces minerais, d'une extraction si facile.

Il est impossible de décrire d'une manière satisfaisante les travaux entrepris sur les couches à alquifoux

des *Bondons*, *Allenc*, *Aufage*, etc. En général les paysans se bornaient à foncer quelques petits puits pour atteindre les couches minéralisées dont ils suivaient les nombreuses ramifications en s'attachant naturellement à celles qui leur donnaient de l'alquifoux massif. Quelquefois ils ont attaqué avec avantage aussi les filons qui, ainsi que nous l'avons montré ailleurs, sont en relation avec les amas des couches calcaires; on trouve de ces travaux dans le quartier des *Bondons;* mais ils ne sont jamais développés, car on était vite obligé, en ce cas, d'entrer en profondeur; les difficultés de l'extraction dépassaient alors les ressources des exploitants.

Jamais il n'a été fait concession d'aucun des gîtes d'alquifoux; il est regrettable, suivant nous, que dans la concession de *Bédouès* et *Cocurès* n'aient pas été compris, comme le voulaient les demandeurs, les gisements d'alquifoux du quartier des *Bondons;* car si l'on vient à exploiter les filons de ladite concession, il sera possible de tenter l'exploitation régulière sur certains points des environs des Bondons. Les produits très-riches en plomb et quelquefois un peu argentifères qu'on en retirerait pourraient vraisemblablement supporter les frais de transport jusqu'à la fonderie; ils seraient d'ailleurs avantageusement mêlés aux autres lors du traitement métallurgique.

Quant aux gisements d'alquifoux répandus sur la pente nord de la Lozère, le défaut de combustible sur les lieux, les difficultés actuelles de communication ne permettent pas d'espérer d'en tirer jamais un parti convenable. Pourtant, les produits de travaux bien conduits à *Allenc*, *Aufage* et *Grosviala*, où les veines et filons paraissent très-riches, pourraient être fondus sur place; on s'approvisionnerait de combustibles dans les bois et forêts des bords du *Lot* et de l'*Altier*, dont

l'exploitation a été limitée jusqu'ici faute de débouchés. Les minerais sont comparables pour la nature et la richesse à ceux du *Bleiberg* (*Carinthie*) et de l'*Espagne* (*Sierra de Gador*); la méthode du *Bleiberg*, qui exige peu de combustible et des appareils peu compliqués, conviendrait très-bien en pareil cas. On pourrait ainsi tirer de ces minerais un parti plus avantageux qu'on ne l'a fait jusqu'ici en les vendant pour alquifoux.

Filons de Bahours, de Balsiéges, du Tournel, etc. — Ancienne exploitation de Bahours. — Impossibilité de la reprise actuelle de cette mine.

Quant aux filons isolés et d'apparence incertaine, comme ceux de *Bahours*, de *Balsiéges*, du *Tournel*, etc., nous ne pensons pas qu'il soit possible, dans l'état des communications et vu la situation de ces gîtes, de songer à leur exploration. Des travaux importants avaient été entrepris sur le gîte de *Bahours* de 1740 à 1750; mais ce n'étaient pas les premiers, car on avait alors rencontré des ouvrages irréguliers dont la date devait être fort reculée. L'emplacement des ouvrages avait été très-mal choisi en 1741; ils sont en effet éparpillés sur la partie du filon voisine du ruisseau du Ginest, exposés par conséquent aux inondations et surtout à une grande abondance d'eaux d'infiltration.

On a reconnu que le filon était éminemment barytique, tenant de la galène peu argentifère avec cuivre pyriteux, pyrites de fer et blende. Le minerai ne devenait réellement riche en argent que dans quelques veines assez rares de quartz grenu.

Les colonnes de minerai étaient discontinues et pas assez puissantes pour payer les frais des premières explorations.

Comme toujours, on s'était encore ici trop hâté de construire non-seulement des laveries, où il ne manquait que du minerai, de l'eau motrice et de lavage, mais encore une usine métallurgique. Celle-ci comprenait un réverbère de grillage, deux fours à manche

pour la fusion du minerai grillé et aggloméré et un four de coupellation. La méthode suivie était donc celle de Vialas. Les combustibles étaient tirés des forêts considérables qui s'étendaient alors sur plusieurs points de la contrée : on était alors, sous ce rapport, dans des conditions certainement meilleures qu'aujourd'hui. Comme d'ailleurs, à l'heure où nous écrivons, les communications ne permettent pas le transport lointain d'un minerai si peu argentifère, que le ruisseau n'a pas même toujours l'eau nécessaire au lavage, en supposant même le cas le plus favorable, c'est-à-dire l'abondance du minerai, nous ne conseillerions pas de reprendre aujourd'hui l'exploration de ce gîte.

Il en serait de même pour les filons voisins de *Balsièges*, *du Tournel* et d'un grand nombre d'autres disséminés sur la pente nord de la Lozère.

CHAPITRE III.

§ I. *Environs de Meyrueis.*

Histoire des concessions données à diverses époques aux environs de Meyrueis.

Tous les gîtes des environs de Meyrueis et Saint-Sauveur avaient été signalés par Gensanne et c'est sur ses indications que vers 1775, la *famille de Saint-Sauveur*, la plus puissante de ces contrées, en entreprit l'exploitation. Les sommes absorbées par les travaux de mines, par la construction de bocards, lavoirs et fonderie, de 1775 jusqu'en 1789, furent considérables, et les produits obtenus bien inférieurs aux dépenses. Nous n'avons pu rassembler que peu de documents sur la conduite de l'entreprise ; mais s'il faut en croire ceux que nous possédons, elle n'aurait pas été des plus satisfaisantes. D'ailleurs, soit qu'ils n'eussent

l'autorisation d'exploiter que certains filons, soit plutôt qu'ils aient voulu concentrer l'exploitation dans les terres de leur dépendance immédiate, les seigneurs de Saint-Sauveur n'attaquèrent en effet que les gîtes voisins de Saint-Sauveur. Des recherches entreprises alors par des particuliers sur le filon du *Marquairès*, durent même être abandonnées, devant les ordres de ces puissants seigneurs. Enfin au moment de la révolution, des complications de toutes sortes surgirent pour l'exploitation ; les réquisitions fréquentes diminuèrent le nombre de bras ; peut-être aussi les fonds manquaient-ils pour faire des travaux d'aménagement nécessités par la position défavorable des filons Sainte-Barbe et Saint-Sauveur. Enfin l'émigration des principaux intéressés jeta les mines dans l'abandon où elles sont toujours à peu près restées jusqu'ici.

Un décret impérial du 16 juin 1808 concède aux sieurs *Bragouse de Saint-Sauveur* le droit d'exploiter les mines de plomb existantes dans les communes de *Saint-Sauveur*, *Bonheur*, *Meyrueis*, *Gatuzières*, pour cinquante ans. Mais les sieurs et demoiselles de Saint-Sauveur, sans avoir fait de nouveaux travaux, renoncent, le 10 juin 1818, à cette concession perpétuée par la loi de 1810.

Depuis cette époque jusqu'en 1850, nulle tentative n'a été faite sur les gîtes compris dans ces anciennes concessions.

En 1850, on rentra dans les vieux travaux du filon de cuivre des *Combelles ;* mais sous le prétexte d'y entreprendre des recherches, on ne fit qu'abattre quelques massifs, restés le long des anciennes galeries.

Quelque temps après, la société des mines métalliques des Cévennes, qui venait d'acheter *Bédouès* et *Cocurès*, envoya à Meyrueis un maître mineur et quel-

ques ouvriers qui se portèrent à *Ribevenès* et à *Gatuzières*.

Malgré les apparences très-brillantes trouvées sur ces deux points, la société des Cévennes, après avoir obtenu l'autorisation d'utiliser les premiers produits de ses recherches, n'a même pas poursuivi jusqu'à l'obtention de la concession. Mais il est à espérer que ce n'est qu'un retard dans l'exécution d'un projet d'ailleurs embrassé avec ardeur : des difficultés d'organisation inhérentes à l'étendue de l'entreprise projetée, en ont pu momentanément arrêter le développement. En réduisant *au possible* les bases de ses opérations, nous croyons que la société reprendra ces gîtes faciles à mettre en valeur.

Jetons maintenant un coup d'œil sur les travaux déjà entrepris et examinons ce qui reste à faire.

Mines de Saint-Sauveur. — Anciens travaux. — Difficultés de leur reprise.

Il est impossible de pénétrer aujourd'hui dans les travaux anciens qui ont exploité la partie supérieure des filons de Saint-Sauveur et Sainte-Barbe; ce qu'on sait par les anciens documents, c'est qu'à cause du peu d'élévation des crêtes au-dessus du fond de la vallée, on était, déjà en 1789, considérablement gêné par l'abondance des eaux et qu'il fallait absolument alors ouvrir des galeries d'écoulement longues et probablement coûteuses.

Si l'on ajoute à cela la discontinuité très-grande des veines minérales, le peu de richesse du minerai en argent, on conclura que ce n'est pas à Saint-Sauveur qu'il convient de se porter d'abord; la reprise de ces gîtes ne saurait, à notre avis, être tentée qu'après une exploration fructueuse de ceux plus rapprochés de Meyrueis.

Mine de cuivre des Combelles. La reprise n'en doit pas être tentée actuellement.

Les anciens travaux du gîte des *Combelles* sont encore, au moins partiellement, accessibles et, s'ils n'ont pas été plus développés, il faut surtout l'attribuer à la position

défavorable du gîte : affleurant sur les bords du *Trévezelet*, il était difficile de le suivre bien loin sans foncer des puits, exposés eux-mêmes à une grande affluence d'eau. On s'est donc arrêté à une faible profondeur : une galerie de traverse perpendiculaire au filon l'atteint à très-peu de distance du ruisseau; elle aboutit à deux galeries de direction.

La galerie orientale a rencontré un massif assez riche de cuivre pyriteux, chargé de beaucoup de fer sulfuré jaune, avec gangue de quartz et sufate de baryte; cette galerie a été poursuivie, à l'est, jusqu'au jour et c'est non loin de son extrémité Est qu'on a foncé, dans la veine minérale, un puits aujourd'hui inondé. Au fond du puits est un autre niveau, marchant du sud-est au nord-ouest. C'est entre ces deux étages que les explorateurs de 1850 ont abattu quelques tombereaux de mine de cuivre à peu près immédiatement utilisable.

La galerie occidentale n'a trouvé que peu de minerai : vers son extrémité, un second puits avait été commencé pour aller au deuxième niveau, mais il n'a pas été continué.

Les apparences minérales sont satisfaisantes au point où le filon a été attaqué; mais les ouvrages sont inondés et il faudra quelques travaux de sûreté dans le ruisseau même du Trévezelet, pour éviter l'affluence des eaux dans les galeries et puits ouverts ou à ouvrir. La reprise exigerait peut-être l'installation immédiate d'une machine d'extraction et d'épuisement, à moins que des fouilles superficielles découvrent les prolongements du filon et qu'on puisse y pratiquer des galeries d'écoulement.

Dans de telles circonstances, nous conseillerions donc encore, comme pour *Saint-Sauveur* et *Sainte-Barbe*, de ne pas s'attacher immédiatement au filon des *Combelles*.

Gîtes de Ribevenès et Campise. Résultats satisfaisants des recherches récentes.

A Ribevenès et à Campise, les circonstances de la position des gîtes sont meilleures qu'à *Saint-Sauveur* et aux *Combelles* : ainsi, les attaques du ravin de l'*Escourgeade* sont à une hauteur de 60 ou 80 mètres au-dessus du *Brézé;* de plus, la vallée s'élargit là sensiblement et les emplacements, pour hangars ou ateliers, seraient très-suffisamment étendus.

Les attaques du ravin de l'*Escourgeade* ont été récemment entreprises auprès de déblais, annonçant d'anciennes fouilles superficielles. En été 1853, voici en quoi consistaient les travaux : on avait ouvert des galeries à deux niveaux, l'un voisin des affleurements et l'autre 12 ou 15 mètres plus bas.

Au niveau supérieur, on avait entrepris une tranchée à ciel ouvert et un puits, sur un ensemble de veines quartzeuses d'où l'on retirait de très-belle galène, souvent massive, mélangée de pyrite de fer, de blende et de nombreux cristaux de *plomb blanc;* le travail, en ce point, n'était pas assez avancé, pour permettre d'apprécier l'allure des veines.

Au niveau inférieur, on était arrivé, en traverse, sur une veine paraissant converger vers la première attaque ; on l'avait suivie en direction, en abattant de fort beau minerai.

Au point où l'on était en été 1853, c'est-à-dire en se rapprochant de la verticale de la première attaque, les veines se multipliaient tout en restant très-exploitables.

Le rocher dans ce gîte est en général fort dur, mais, comme compensation, le boisage sera moins dispendieux. De longtemps, on n'aura aucune préoccupation pour l'aérage, l'épuisement ni pour l'extraction.

Les minerais, d'une préparation vraisemblablement facile, vu l'absence de baryte sulfatée et l'épaisseur des

filets minéraux, descendront, sans grands frais, au niveau du Brézé, où l'on trouvera l'eau nécessaire aux ateliers de préparation. Toutes les circonstances semblent donc se réunir pour favoriser l'exploitation de ce gîte, quoique la teneur en argent métallique n'atteigne pas les chiffres de *Vialas*, *Bluech* et *Florac*. Nous verrons plus bas que les conditions sont également favorables sous le rapport du traitement métallurgique. Ribevenès nous paraît donc un premier point où il serait avantageux de continuer l'exploration, en vue d'une exploitation future. En même temps, il conviendrait de sonder toute la zone de *Ribevenès à Campise*, où rien encore n'a été tenté.

Gîte cuivreux de Gatuzières.

Le gîte si puissant de Gatuzières donnera probablement un mélange de minerais de cuivre et de minerais de plomb : il est cependant, sur plusieurs points, exclusivement cuprifère ; comme d'ailleurs c'est là qu'il paraît le plus puissamment minéralisé, on devrait, en cas d'exploration, s'y attacher d'abord et plus particulièrement.

Les quelques travaux déjà commencés sur les couches calcaires pénétrées de carbonate et de pyrite de cuivre, ont montré qu'on pouvait, dans les quartiers de la *Cascade*, de *Gatuzières*, du *Cantonnier*, retirer du minerai de cuivre très-riche et d'un traitement métallurgique facile. On n'a jusqu'ici atteint le filon même qu'auprès de la cascade, par un travail trop peu suivi. Or, les indices de l'affleurement et des roches encaissantes seront précieux quand il s'agira de diriger des flancs de la montagne, très-élevés d'ailleurs au-dessus de la vallée, des traverses pour atteindre le gîte en profondeur. L'hypothèse la plus naturelle, en effet, c'est que les régions riches du filon doivent correspondre aux plus belles apparences des couches calcaires. Au

surplus, en marchant au filon, à travers les calcaires, on aura l'avantage d'abattre du minerai, tout en explorant et aménageant le gîte.

Quant aux conditions d'exécution des ouvrages, nous nous bornerons à dire qu'elles sont au moins aussi favorables qu'à *Ribevenès*. Les communications, quelque part que soit envoyé le minerai, seront même ici plus faciles; car la route de Meyrueis à Florac côtoie le gîte depuis *Gatuzières* jusqu'auprès de *Malbosc*.

Les circonstances fussent-elles moins favorables à l'ouverture des travaux, que nous conseillerions encore d'attaquer le gîte de Gatuzières avant tout autre, à cause de sa puissance, de sa continuité, et surtout de sa richesse en minerai de cuivre.

Quant aux prolongements de ce filon à l'est dans le ravin de Malbosc, où d'anciennes attaques ont donné de la galène barytique et relativement pauvre en argent, leur exploration ne devrait être tentée qu'après celle de la région occidentale. Nous en dirons autant des gîtes de *Cabrillac*, du *Marquairès* et autres, placés moins avantageusement, et dont les apparences sont d'ailleurs beaucoup moins flatteuses.

Résumé sur les gîtes des environs de Meyrueis. — Circonstances favorables au développement des exploitations métalliques, auprès de Meyrueis.

Une exploration conduite comme nous l'avons indiqué aboutirait, nous en avons la conviction, à la mise en valeur de la plupart des gîtes minéraux connus auprès de Meyrueis. Nous ajouterons encore quelques renseignements généraux qui montreront combien Meyrueis est bien situé pour devenir le centre d'une exploitation importante.

Les habitants de cette contrée, généralement plus industrieux que dans le reste du département de la Lozère, sont bien disposés en faveur des explorateurs. Une entreprise sérieuse trouverait peut-être même chez eux plus qu'un concours indirect. Les ressources de la

vie matérielle sont, dans les environs de Meyrueis, beaucoup plus grandes que dans bien des districts de mines; la main-d'œuvre et les transports n'y sont pas chers; les migrations d'ouvriers vers les Cévennes orientales, à certaines époques de l'année, permettent de supposer qu'on n'y manquerait pas de bras pour les travaux secondaires de l'exploitation.

Les diverses branches de la Jonte roulent des quantités d'eau très-suffisantes, non-seulement pour alimenter des ateliers de préparation près des gîtes, mais encore pour fournir une force motrice considérable, en cas d'établissement d'une fonderie près de Meyrueis. A part l'acquisition des terrains qui sera peut-être un peu chère, leur appropriation n'entraînera pas de travaux coûteux et il sera facile d'y créer des chutes puissantes.

Des forêts considérables recouvrent les montagnes de l'Aigonal et leurs appendices: une grande variété d'essences s'y trouve, et, soit pour les mines, soit pour les constructions, on aurait là des bois à bon marché. On en retirerait aussi une production régulière en fagots ou en charbon de bois, pouvant au moins partiellement alimenter une fonderie. Si les besoins du traitement métallurgique l'exigeaient, on pourrait encore faire arriver les produits des exploitations de lignites ou de houille ouvertes dans les terrains jurassiques au sud de Meyrueis. Déjà les machines des filatures de cette ville sont alimentées avec ces combustibles: nous avons eu l'occasion de faire des essais qui nous ont montré qu'ils étaient propres à plus d'un usage métallurgique; nous avons réussi à en faire du coke d'un aspect très-satisfaisant.

Nous insistons sur ce point, car si les transports peuvent s'organiser économiquement autour de Mey-

rueis, il n'en serait plus de même dès qu'il faudrait relier Meyrueis avec le bassin houiller le plus rapproché, c'est-à-dire Alais. Meyrueis est jusqu'ici bien isolée sous le rapport des communications. Bornée au nord, à l'est et au sud par de très-hautes montagnes, cette ville n'a de sortie facile que sur l'Aveyron par *Milhau*, et cependant il n'y a pas encore de voie praticable entre ces deux points. Au surplus Milhau est très-éloigné des bassins houillers de l'Aveyron; il n'y a donc aucune solution à espérer de ce côté. Malgré les difficultés qu'elle présente, la route d'Alais est encore la plus naturelle pour les produits d'exploitations voisines de Meyrueis : mais à quel état ces produits sortiront-ils de Meyrueis?

Nous ne pouvons prévoir la quotité des minerais extraits, ni par conséquent celle des combustibles nécessaires à leur traitement métallurgique; mais le cas le plus défavorable serait celui où l'approvisionnement en combustibles des environs serait insuffisant au traitement parfait des minerais. Or, dans ce cas, il sera toujours possible de leur faire subir, sur place, au moins un traitement préparatoire. Après la préparation mécanique, une fusion pour matte, par exemple, des minerais de cuivre, amoindrirait considérablement les frais de transport pour cette sorte de produits. Des exemples nombreux fournis par les établissements de l'Angleterre et de l'Allemagne qui élaborent les matières cuivreuses, prouvent qu'avec leur valeur actuelle elles peuvent d'ailleurs supporter des transports au moins aussi considérables que ceux de Meyrueis jusqu'aux bassins du Gard.

Nous ne voyons donc rien, dant la position des gîtes, qui puisse diminuer les espérances de succès que nous annoncions plus haut.

§ II. *Résumé sur les mines et gîtes métallifères de la Lozère.*

Conclusions. — Des études partielles auxquelles nous nous sommes livré sur les concessions de gîtes métalliques de la Lozère, il résulte qu'au point de vue des conditions générales dans lesquelles chacune d'elles se trouve placée, au point de vue de leur avenir même, il importe de les rapprocher et de les grouper ainsi qu'il suit :

1° *Mines de plomb argentifère de Vialas, Bluech, Bédouès et Cocurès.*

2° *Mines de plomb argentifère et de cuivre pyriteux des environs de Meyrueis.*

Dans le premier groupe, nous avons signalé, pour *Vialas*, tous les inconvénients qui résultent de la position de la fonderie près des mines, sous le rapport du travail en lui-même; mais nous avons réservé, pour cette partie du mémoire, la discussion complète sur l'urgence de sa translation en un point du bassin houiller du Gard.

Pour *Bluech*, *Bédouès* et *Cocurès*, nous avons conclu qu'il serait impossible de construire des usines métallurgiques sur les mines mêmes.

Nous nous proposons ici de montrer qu'il est de l'intérêt de la compagnie de Vialas de transporter dès aujourd'hui sa fonderie sur le bassin houiller du Gard, en tenant compte non-seulement des convenances propres à son entreprise, mais encore du développement auquel sont appelées tôt ou tard les deux autres concessions.

Pour le moment ces trois concessions doivent rester isolées; les conditions propres à chacune d'elles sont trop disparates pour qu'une fusion puisse en être ten-

tée ; mais cet isolement doit cesser quand il s'agit du traitement des minerais, et cela pour plusieurs raisons. Les matières premières sont de même nature et pourront passer exactement aux mêmes opérations métallurgiques ; les mines sont soumises à la commune nécessité du transport de leurs produits vers la même région houillère ; le lieu d'installation de la fonderie peut être le même pour toutes les exploitations. L'idée d'une fonderie unique s'appuie encore sur l'économie qu'elle procurerait dans le premier établissement, dans le travail métallurgique, dans le personnel, etc., etc. Il nous semble donc évident que si la compagnie de Vialas transfère aujourd'hui sa fonderie près du combustible et à portée de recevoir les produits des autres concessions, elle peut compter, parmi tous les avantages qui en résulteront pour elle, sur un accroissement notable de production par l'apport des minerais de tout le premier groupe. Le voisinage d'une fonderie *placée dans de bonnes conditions* sera sans contredit une des causes qui peuvent le plus puissamment concourir au rapide développement d'exploitations encore en souffrance ; car jusqu'aujourd'hui ce qui a beaucoup nui à celles-ci, ç'a été la difficulté de tirer immédiatement parti des minerais, de manière à couvrir une portion des dépenses d'exploitation.

Dans ce qui précède, nous nous sommes surtout placé au point de vue de l'avenir du premier groupe ; mais en se bornant à ce qui regarde spécialement Vialas, nous trouvons de nouveaux arguments en faveur de notre projet, et qui concordent avec ce qui vient d'être dit.

1° Des comparaisons qui ont été faites entre les frais de transport de toutes sortes que la fonderie supporte ou supporterait, en la laissant à *Vialas* ou en l'établissant soit à *Portes*, soit à *Alais*, il résulte que pour une

production comme celle de 1852-1853, on trouverait :

	fr.
à Alais, une économie totale de. .	4.608,20
à Portes.	7.233,97

2° A Vialas, le personnel appartient au pays et les salaires sont relativement faibles : on estime qu'à Alais il faudrait les augmenter de 1/4, et à Portes de 1/3.

Pour une production comme celle de 1852-1853, on a payé la main-d'œuvre de fonderie :

	fr.
à Vialas.	9.500

On eût payé :

à Alais	11.900
à Portes	12.570

Ce qui réduirait, en définitive, les économies résultant de la translation :

fr.
à 2.208,20 pour Alais,
à 4.063,00 pour Portes.

Il est bon d'ajouter que l'estimation de l'augmentation des salaires est peut-être un peu élevée, au moins pour la position de Portes : on y appellerait aisément les ouvriers du pays aujourd'hui employés par l'entreprise. Au surplus, si, en se rapprochant de ces centres considérables d'industrie, l'administration sait, par quelques mesures de précaution, balancer l'augmentation du prix des vivres, elle pourra, en raison même de l'aptitude spéciale de ses ouvriers, les conserver sans accroissement notable des salaires.

3° Les économies dont nous venons de parler seraient insignifiantes vis-à-vis des dépenses assez importantes qu'entraînera la translation et le renouvellement matériel, s'il n'y avait pas quelque chose de plus à dire au sujet même des appareils : nous serions dans le cas de *Dolomieu* quand, en 1795, on le consultait sur la trans-

lation de Villefort à Vialas, et comme lui nous dirions : « Le projet de translation ne conviendrait qu'autant que l'usine serait à reconstruire à neuf. » Or les circonstances où se trouve actuellement la fonderie de Vialas se rapprochent singulièrement de celles-ci.

Si l'on veut développer la production des mines, la première conséquence sera l'extension des ateliers de préparation mécanique aux dépens de l'emplacement réservé à la fonderie : celle-ci même devrait être augmentée, car elle suffit à peine à une production comme celle de 1852 - 1853. Les appareils métallurgiques sont presque tous à changer ou à reconstruire, et une reconstruction semblable coûterait bien plus à Vialas qu'à Portes ou à Alais. Nous n'avons pas besoin de rappeler d'ailleurs que ce ne sont pas seulement les matériaux de construction qui manquent à Vialas, mais encore la plupart des matières premières nécessaires au traitement métallurgique, et que, sous ce rapport, la position d'Alais ou celle de Portes serait bien autrement avantageuse que Vialas.

Il n'est pas toujours possible de représenter tous ces avantages par des chiffres; mais en admettant même une dépense de 100.000 francs pour la reconstruction de l'usine à Portes ou à Alais, nous pensons qu'en très-peu de temps cette avance serait compensée par les économies signalées et par les bénéfices nouveaux dus à un accroissement à peu près certain de la production.

Admettant donc le principe de la translation, il resterait à décider lequel des deux points, *Portes* ou *Alais*, conviendrait le mieux.

Les éléments discutés jusqu'ici sont, en somme, plus favorables à *Portes* qu'à *Alais*; les avantages de Portes subsistent quand on tient compte de certaines autres conditions fort importantes.

Les exploitations houillères du Gard se peuvent diviser en deux districts dont la production tend peu à peu à s'égaliser : le district de la *Grand-Combe*, *Rochebelle*, etc., et le district comprenant *Portes*, *Bessèges*, *Lalle*, *Trélis*, etc. Alais appartient au premier, ou au moins peut en recevoir aisément les produits par les chemins de fer de la *Levade* et de la *Grand-Combe*. A l'heure où nous écrivons, on étudie les chemins de fer de Bessèges à Saint-Ambroix et Alais, prolongés jusqu'à Portes. Or, depuis longtemps déjà, des usines diverses sont établies auprès d'Alais, et ce n'est qu'à grand'peine qu'elles parviennent à s'alimenter régulièrement de combustibles à la Grand-Combe : en outre, des usines s'y sont déjà élevées pour le traitement des minerais de zinc et même des minerais de plomb des Cévennes orientales. Toutes ces circonstances nous semblent établir une infériorité bien décidée d'Alais vis-à-vis de Portes, comme lieu de translation de l'usine de Vialas.

A Portes, l'approvisionnement en combustible sera plus facile, l'écoulement des produits, sur Marseille et sur Lyon, se fera très-aisément, par les chemins de fer en cours d'exécution. Aux environs de Portes même, on connaît quelques anciennes mines métalliques qui pourront peut-être aussi être reprises et contribuer au développement et à l'importance de la fonderie. Enfin, quant aux matières nécessaires au traitement métallurgique, ce qu'on attendait du voisinage des forges et fonderies d'Alais, on peut, avec les communications nouvelles, l'espérer de celles de Bessèges.

En résumé, au point de vue particulier de Vialas comme pour l'avenir de tout le premier groupe, *Portes* nous semble le point le plus convenable pour l'établissement d'une usine centrale.

Dans le deuxième groupe, rappelons d'abord que les minerais de cuivre seront probablement très-abondants.

Soit que leur traitement, ainsi que celui des minerais de plomb argentifère, puisse être parachevé près de Meyrueis, soit que les circonstances ne permettent là qu'un traitement préparatoire en vue d'un abaissement des frais de transports, les produits n'en devront pas moins être dirigés sur *Alais*. Or, entre *Meyrueis* et *Saint-Jean-du-Gard* et dans les *Cévennes orientales*, on a déjà exploré et même exploité un certain nombre de gîtes minéraux de même nature que ceux de Meyrueis. N'y aurait-il pas lieu de disposer les usines déjà fondées auprès d'Alais de manière à y traiter à la fois les produits bruts des mines les plus rapprochées de ce centre industriel et les produits secondaires de Meyrueis? Cette combinaison, que l'état actuel des mines ne nous permet pas de développer, compléterait le plan d'ensemble, que nous avons essayé d'esquisser pour la mise en valeur de tant de richesses minérales.

Comme nous l'annoncions au début de ce second mémoire, les tendances actuelles de l'esprit de spéculation sont favorables à la réalisation de semblables projets. Nous espérons que les explorateurs qui consulteront notre travail y puiseront la confiance que nous avons nous-même dans la valeur des gîtes; nous espérons aussi qu'ils verront dans la partie historique combien il est rare qu'on apporte en pareilles entreprises la prudence, l'habileté et la persévérance si nécessaires à leur réussite; qu'il faut, par conséquent attribuer l'état d'abandon de la plupart de ces mines métalliques, bien plutôt à cette cause qu'à l'absence des richesses minérales.

NOTICE

SUR LES MINES DE CHARBON DE TERRE DU PÉROU.

Par M. E. DE RIVERO, ancien externe élève de l'École des mines de Paris et consul général en Belgique.

Jusqu'aujourd'hui tous les ouvrages publiés par les voyageurs naturalistes qui ont parcouru le Pérou ne renferment presque rien sur les mines de charbon de terre de la république péruvienne.

Je remplirai donc cette lacune, au moins en partie, en donnant des indications et sur les couches de ce combustible si utile que j'ai vues dans la *Cordillera* et sur celles que j'ai reconnues par moi-même.

Dans la *Costa* (côte), quoiqu'il y ait des terrains où l'on trouve le charbon de terre, personne ne l'a encore rencontré en couche exploitable. Nous en dirons autant de l'île de *San Lorenzo*, près *Callao*, et du district de *Tumbès*.

Malgré tout, nous croyons qu'à l'aide d'une reconnaissance exacte le long de toute la *Costa*, on parviendrait à trouver cette matière première si nécessaire à l'industrie ainsi qu'à la navigation à vapeur, et que nous sommes obligés de faire venir à grands frais d'Angleterre.

Une prime offerte par le gouvernement ou par quelque société suffirait peut-être pour assurer le succès de ces recherches.

La découverte des mines de charbon de terre date, au Pérou, de l'introduction des machines à vapeur que la compagnie d'Abadia établit en 1816 au *Cerro del Pasco*, département de Junin. Ce fut Hudille qui reconnut la première couche de ce combustible dans la colline de *Rancas*, à deux lieues du *Cerro*, département de Junin. On ne savait d'abord à quoi l'employer, car les cuisines, les *braseros* et la distillation de la *pella* d'argent étaient entretenus par le charbon végétal et la *champa* (espèce de tourbe).

Une fois l'importance de la houille constatée, sa nécessité même pour les machines dans un district dépourvu de bois, engagea à s'en servir peu à peu pour les usages domestiques ; aussi on ne tarda pas à établir dans les maisons des cheminées d'après le système européen. Dès aujourd'hui il n'y a plus une seule cabane qui n'ait un foyer propre à brûler le charbon de terre ; par suite, le climat *del Cerro de Pasco* qui est à 4.352 mètres au dessus du niveau de la mer, est devenu plus supportable.

Les couches de *Rancas* se dirigent du nord au sud en s'inclinant vers l'ouest. Elles recouvrent des phyllades et des grès et elles sont recouvertes par les mêmes roches. Elles font des zigzags, de même qu'en Belgique et dans beaucoup de bassins dans lesquels on exploite de la houille.

Le dépôt principal y est assez étendu en longueur et en largeur. Le charbon en est excellent, donnant beaucoup de flamme et peu de résidu. Il est d'ailleurs consistant et propre à l'alimentation des forges. Sa structure est beaucoup moins schisteuse que celle d'autres charbons de terre.

Les mineurs, convaincus de la valeur et de l'utilité d'un gîte si abondant, s'empressèrent de recourir à la

protection de l'administration et se firent délivrer les *varas* prescrits par les règlements. Il s'ensuivit, ainsi qu'on devait l'attendre, qu'on découvrit d'autres gîtes de houille soit aux environs de *Cerro*, soit assez loin de cette ville.

Dans le mamelon de *Colquyilca* (mamelon d'Argent), qui est à deux lieues environ de *Cerro*, il y a trois couches peu épaisses de charbon de bonne qualité.

A la Quebrada de *Fulluranca*, route de Huanuco, dans les mamelons de *Puelles*, *Anaspuquio* et *Siricancha* près d'une propriété appartenant à Don Gaspar Sola, on remarque des couches considérables de houille qu'on emploie avantageusement pour le chauffage domestique et la distillation de la *pella* d'argent. Elles s'y trouvent entre des grès et du calcaire qui renferme du plomb sulfuré. J'ai trouvé, non loin de là, du fluate verdâtre de chaux associé à du sulfure de plomb.

Dans la direction de la mine d'argent de Vinchos (qui est en exploitation et qui donnerait de grands bénéfices si elle était exploitée sur une grande échelle), tout en montant au mamelon de *Pargas*, à l'endroit appelé *Curaopuero*, on trouve une couche de charbon de quinze *varas* de largeur. Ce charbon est peu bitumineux, et il brûle facilement en laissant un résidu blanc schisteux. La mine appartenait à MM. Sanchez et à Don Ricardo Joch.

A quatre lieues environ de ce point, sur la droite, se trouve le mamelon de *Pictichaca* (mot qui signifie *pont*), et dont le pied est baigné par les lacs de Geguey et Boliche. Il renferme les mines d'argent du *Rosario*, propriété de la métairie de Jarria, et d'autres mines qu'on assure avoir été exploitées par une compagnie portugaise.

A la descente de la *Quebrada de Vinchos*, on rencontre

au mamelon de *Churca* une couche de charbon que j'ai découverte et que je crois être de qualité supérieure, bien qu'elle soit peu épaisse.

Près du village de *Pallanchaca*, j'en remarquai une autre assez importante et qui pourrait encore être exploitée.

La puissante mine d'argent de *Huallanca* possède de riches couches de charbon de terre, dont la largeur est de quatre à cinq varas; la qualité de ce charbon est excellente. Il est probable que par la suite des fabriques et des fonderies trouveront avantage à venir s'établir à proximité de ce combustible. La hauteur de *Huallanca* au-dessus du niveau de la mer est de 3.527 mètres (1).

Près de la mine de mercure de *Chonta*, à la hauteur de 4.465 mètres, il y a des couches de houille qu'on n'emploie que pour le chauffage. Ces couches reposent sur le grès; elles alternent avec le conglomérat et le fer sulfuré.

On trouve du charbon dans la profonde *Quebrada de Queropalca*, localité assez riche en métaux, notamment en plomb, et dans celle de *Chavin de Guanta*, célèbre par les châteaux renommés des anciens Incas.

Près de la mine d'*Oyon*, province de Cajatambo, on a reconcu et on exploite en partie plusieurs couches de houille de qualité supérieure qui couvrent une surface de plusieurs lieues.

(1) Le minérai de *Huallanca*, découvert il y a quatre-vingts ans par Foribio Perez de Beteta, pourrait faire concurrence à celui de *Cerro de Pasco*, car il renferme de riches filons. Les mines de houille de *Ulucancha*, *Pampa*, *Condiconcha*, *Caballero*, etc., possèdent des rognons de fer lithoïde et reposent sur le grès et sur le schiste avec des couches calcaires. Elless se dirigent du nord au sud.

L'ancienne mine de sulfo-antimoniure d'argent, gisant sur le carbonate de chaux magnésien, et dont l'exploitation a été entreprise dernièrement par une société anglo-américaine, n'a point répondu à l'attente de sexploitants. Le village d'Oyon se trouve à la hauteur de 3.621 mètres.

Dans la colline (alto) de *la Vinda*, sur le chemin de l'*Obragillo* à *el Cerro de Pasco*, à une élévation de 4.613 mètres, j'ai reconnu le charbon en couches horizontales, entre le grès et le schiste, avec des coquilles trop imparfaites pour pouvoir en préciser l'espèce.

Il y a de la houille dans les villages de *Marcapopacocha*, *Alpamarca*, *Pallanca*, etc

A douze lieues environ de *Cerro*, sur le côté gauche, on remarque la couche de charbon de *Cullutago*, s'étendant sur les deux versants de la *Quebrada* du village de Huallay, formée par les mamelons d'*Andacancha* et d'*Anascacha*; les bases de ces mamelons sont de grès, tandis que les sommets renferment le *trachyte blanc* avec des morceaux de perlite grisâtre et de quartz blanc transparent. Avant d'arriver à Huallay on rencontre sur la route du minerai d'argent, et du charbon de terre. Il se trouve sur le mamelon dominant de *Chicacha*, qui offre des terrains différents et plusieurs mines d'argent qui ont rapporté jusqu'à 50 *marcos* par *cajon*. La base de la même hauteur est remarquable par une couche de plâtre salifère d'où découlent des ruisseaux d'eau salée.

Il y a au mamelon de *Aranvaldpan* diverses autres mines de houille de bonne qualité qui furent exploitées par la compagnie d'Abadia pour la fusion des plombs argentifères. Il en existe une autre près du petit lac de *Pichac*; M. Alexandre Verastegui l'a exploitée, mais elle est d'une qualité inférieure.

Aux environs de *Huaypacha* on voit une couche de

lignite. A *Chapalca*, près *Puipuy*, il y a de la houille en couche assez étendue ; il y en a aussi, non loin de *Huayay;* ce dernier gisement est important, et la houille qu'il renferme est de qualité supérieure.

On m'a prévenu que sur le *chemin* de Farma à Jauja il existe anssi du charbon de terre, de même qu'aux alentours de la mine de mercure de *Huancavelica*.

Il y a quelques années on a découvert des couches de houille à la *Quebrada de Murco*, dans le département d'Arequipa. Celle-ci, commencement de la vallée de Siguas, prend son origine au pied du haut et majestueux *Nevado de Sallaly*, dont le sommet couvert de neiges perpétuelles n'a été et ne sera jamais foulé par l'homme. Je pense qu'il doit avoir une hauteur plus grande que le volcan d'Arequipa qui a 6.600 mètres. Tous les voyageurs qui passent par le pied de ses versants dans la direction de *Lampa* ou de *Puno* souffrent et du froid excessif et du *soroche*, accident qui, dans certaines saisons de l'année, frappe de mort les animaux eux-mêmes (1).

La *Quebrada* de *Murco* se dirige du nord-est au sud-est ; tous les terrains qu'on y voit se composent de grès et de schiste noir. Cinquante *ranchos*, cabanes de paille et de pierre, sont habités par des indigènes occupés à l'élevage de troupeaux ; c'est là toute sa population. On y récolte des *papas*, du *maïs* et de mauvaises *pêches*, à l'aide de la *chilca* (eupatoria résineuse), arbuste qui y vient abondamment, et qui, enfoui, produit des effets admirables d'engrais.

(1) Le *soroche* est l'espèce de tournoiement de tête qu'on éprouve en montant la *Cordillera*, par suite de la raréfaction de l'air, et non à cause des vapeurs antimoniales, comme on le prétend ordinairement.

A quatre ou six *cuadras* de ces *ranchos*, sur les bords d'un ruisseau qui, en temps de pluie, devient infranchissable, il y a des couches de houille dans du schiste ardoisier ; elles se dirigent de l'est-sud-est à l'ouest-nord-est et s'inclinent vers le nord ; à la surface on les trouve sur une longueur et d'une largeur de quelques varas ; elles sont mêlées au fer lithoïde et à la pyrite ferrugineuse.

Assez près de ce lieu, j'ai découvert d'autres couches qui me semblent être d'une qualité meilleure. Celle qu'on a commencé à exploiter sous la direction de M. Uria a plus d'une *vara* de large, et le charbon qui en a été retiré avait une *cuarta* sans mélange et a été essayé dans un des bateaux à vapeur de l'océan Pacifique. On le transporte déjà à Arequipa, éloigné de 15 à 16 lieues, où les forgerons en font usage. Je pense qu'arrivera bientôt le moment de l'employer, dans les vallées de Siguas et de Vitor, pour la distillation des vins.

Dans la vallée de *Mages*, près la propriété de Querulpa, j'ai trouvé dans la roche calcaire une couche presque horizontale et très-étroite de houille que j'ai concédée à D. Manuel Reyes pour qu'il l'exploitât.

Dans la *Quebrada* des bains thermaux de *Yura*, à neuf lieues au nord d'Arequipa, j'ai constaté, dès 1827, l'existence du charbon dans l'ardoise noirâtre, de même qu'à la *Compuerta*, chemin de ladite ville à celle de Puno. On assure qu'il y en a encore à *Esquino*, route de Moquegua, et au *Morro* de *Sama*.

On réussirait probablement à le trouver aux environs d'Arica, la conformation et la nature des terrains le font du moins présumer.

Il en serait sans doute de même dans d'autres endroits de la *Costa*.

Ainsi donc le Pérou ne manque pas de charbon de terre ; les distances et l'absence de routes, voilà les causes qui forcent les industriels de la Costa à s'en approvisionner aux marchés étrangers à des prix assez élevés ; car lorsque le charbon de terre devient rare, l'habitant du Pérou le paye jusqu'à à 20 et 25 *pesos* le tonneau.

CALCUL DE LA RÉSISTANCE

DES POUTRES DROITES, TELLES QUE LES PONTS, LES RAILS, ETC., SOUS L'ACTION D'UNE CHARGE EN MOUVEMENT.

Par M. E. PHILLIPS, ingénieur des mines.

La belle et utile invention des chemins de fer a fait surgir une question dont l'application ne s'était pas jusque-là présentée et qui n'a pas encore été résolue d'une manière complète et suffisante pour les besoins de la pratique. Je veux parler de la résistance des ponts, ou plus généralement des poutres droites, soit en métal, soit en bois, sous l'influence du mouvement de la charge. Ce mouvement change d'une manière très-notable les conditions du problème de l'équilibre et de la forme de cette poutre à un instant quelconque. Les réactions déterminées par l'inertie influent, à un degré dont il faut tenir compte, sur les pressions mutuelles que la charge et son support exercent l'un sur l'autre, ainsi que sur les allongements éprouvés par les différents points de la poutre. Cette question, qui touche directement à la solidité des ponts, des rails, etc., employés sur nos lignes de chemins de fer, intéresse donc vivement les ingénieurs, et je crois utile de faire connaître la solution complète, à laquelle je suis parvenu, de ce problème.

Quoique tous les cas possibles se traitent par une seule et même méthode, je vais expliquer à part, et en deux chapitres différents, les deux cas principaux : le premier relatif aux poutres encastrées par leurs deux extrémités, telles qu'un grand nombre de ponts, les rails, etc. ; le deuxième se rapportant aux poutres re-

posant librement, à leurs deux bouts, sur des appuis. Dans l'un comme dans l'autre cas, je prendrai le problème à son point de vue le plus général.

CHAPITRE PREMIER.

DES POUTRES ENCASTRÉES PAR LEURS DEUX EXTRÉMITÉS.

Soit AB $= l$ la longueur de la poutre; soient A et B ses deux extrémités, correspondant aux points d'encastrement, et Q la charge mobile, animée de la vitesse V et actuellement en H. Les deux courbes AH et BH sont différentes, mais se raccordent en H, et nous allons, pour le temps t quelconque, chercher leurs équations, par rapport aux deux axes AX et AY, l'un horizontal et l'autre vertical, ce dernier dirigé de haut en bas.

Désignons par p la charge permanente de la poutre, comprenant son propre poids, rapportée à l'unité de longueur, et par ϖ ce dernier poids, rapporté aussi à l'unité de longueur; par g la gravité et par M le moment d'élasticité de la poutre. Enfin, comptons le temps t à partir du moment où la charge mobile Q arrive en A à l'origine de la poutre.

Si l'on considère un point quelconque C de AH, compris entre A et H, dont les coordonnées, à un moment donné, soient x et y, il est clair que, pour l'élément dx qui part de ce point, la force verticale, en tenant compte des forces d'inertie, qui satisfait pour l'équilibre à la figure actuelle de la courbe, est :

$$p\,dx - \frac{\varpi}{g}\,dx\,\frac{d^2y}{dt^2}.$$

Il est facile, d'ailleurs, d'avoir une autre expression de cette même force. En effet, au même point (x, y), $-\mathrm{M}\frac{d^2y}{dx^2}$ représente, en tenant compte des forces d'inertie, la somme algébrique des moments des forces qui agissent, pour la courber, sur la partie de la poutre comprise entre les points A et C, y compris la réaction exercée sur celle-ci par le point A lui-même.

Donc la différentielle de $-\mathrm{M}\frac{d^2y}{dx^2}$ par rapport à x, t étant constant, ou $-\mathrm{M}\frac{d^3y}{dx^3}\,dx$, est la différentielle de cette somme de moments, laquelle différentielle est égale à la somme algébrique de toutes ces forces multipliées par dx, de sorte que $-\mathrm{M}\frac{d^3y}{dx^3}$ est la somme algébrique de toutes ces forces, depuis et y compris le point A jusqu'en C. De même, la différentielle de $-\mathrm{M}\frac{d^3y}{dx^3}$ par rapport à x, t étant constant, ou $-\mathrm{M}\frac{d^4y}{dx^4}dx$, représente la différentielle de la somme de ces forces, en passant de x à $x + dx$; et, par suite, la force agissant sur l'élément dx. On a donc

$$-p\,dx + \frac{\varpi}{g}\,dx\,\frac{d^2y}{dt^2} = \mathrm{M}\frac{d^4y}{dx^4}$$

ou

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{\mathrm{M}g}{\varpi}\frac{d^4y}{dx^4} + \frac{pg}{\varpi}.$$

Posons, pour abréger, $\frac{\mathrm{M}g}{\varpi} = k^2$ et $\frac{pg}{\varpi} = \varphi$ et nous aurons

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -k^2\frac{d^4y}{dx^4} + \varphi. \qquad (1)$$

On est ainsi conduit à une équation aux différences partielles pour la courbe AH. Il en est de même pour la courbe BH. En désignant par x_1 l'x d'un point quelconque de cette dernière courbe, mais compté à partir du point B au lieu du point A, on aura, pour tous les points de BH,

$$(2)\qquad \frac{d^2y}{dt^2} = -k^2\frac{d^4y}{dx^4_1} + \varphi.$$

Les équations (1) et (2) peuvent être simplifiées. Sous l'action de la seule force p, la poutre prendrait une certaine figure d'équilibre facile à déterminer et dont l'équation est

$$(3)\qquad y' = \frac{pl^2}{2\,3.4\mathrm{M}}x^2 - \frac{pl}{3.4\mathrm{M}}x^3 + \frac{p}{2.3.4\mathrm{M}}x^4.$$

Or, dans l'équation (1), faisons $y = z + y'$. Il est évident que z représentera, à une époque quelconque, l'abaissement du point correspondant de la courbe AH au-dessous de sa position d'équilibre.

Substituant dans l'équation (1), celle-ci devient

$$(4)\qquad \frac{d^2z}{dt^2} = -k^2\frac{d^4z}{dx^4}.$$

Faisant la même transformation pour l'équation (2), on a pour tous les points de la courbe BH

$$(5)\qquad \frac{d^2z}{dt^2} = -k^2\frac{d^4z}{dx^4_1}.$$

Il s'agit maintenant d'intégrer les deux équations aux différences partielles (4) et (5); occupons-nous d'abord de la première.

Il est évident que z est une fonction de x et de t, que l'on peut supposer développée suivant les puissances de x, sous la forme

$$(6)\qquad z = \mathrm{A}x^2 + \mathrm{B}x^3 + \mathrm{C}x^4 + \mathrm{D}x^5 + \mathrm{E}x^6 + \mathrm{F}x^7 + \mathrm{G}x^8 + \mathrm{H}x^9 + \mathrm{I}x^{10} + \mathrm{J}x^{11}, \text{ etc.}$$

Il ne faut mettre ni terme en x, ni terme indépendant de x, car, pour $x = 0$, on doit avoir, quel que soit t, $z = 0$ et $\frac{dz}{dx} = 0$.

A, B, C, D, E, F, etc., sont des fonctions de t, qu'il

s'agit maintenant de déterminer. Or, en vertu de (4), on doit avoir identiquement, en désignant par A″, B″, C″, etc., les dérivées secondes, par rapport à t,

$$\mathrm{A}''x^2 + \mathrm{B}''x^3 + \mathrm{C}''x^4 + \mathrm{D}''x^5 + \mathrm{E}''x^6 + \mathrm{F}''x^7 + \mathrm{G}''x^8 + \mathrm{H}''x^9 + \text{etc.} = -k^2(2.3.4\mathrm{C} + 2.3.4.5\mathrm{D}x + 3.4.5.6\mathrm{E}x^2 + 4.5.6.7\mathrm{F}x^3 + 5.6.7.8\mathrm{G}x^4 + 6.7.8.9\mathrm{H}x^5 + 7.8.9.10\mathrm{I}x^6 + 8.9.10.11\mathrm{J}x^7 + \text{etc.})$$

d'où résulte

$$\mathrm{C} = 0, \qquad \mathrm{D} = 0,$$

$$\mathrm{E} = -\frac{1}{k^2}\,\frac{1}{3.4.5.6}\,\mathrm{A}'',$$

$$\mathrm{F} = -\frac{1}{k^2}\,\frac{1}{4.5.6.7}\,\mathrm{B}'',$$

$$\mathrm{G} = 0, \qquad \mathrm{H} = 0,$$

$$\mathrm{I} = -\frac{1}{k^2}\,\frac{1}{7.8.9.10}\,\mathrm{E}'' = \left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.11}\,\mathrm{A}^{\mathrm{IV}},$$

$$\mathrm{J} = -\frac{1}{k^2}\,\frac{1}{8.9.10.11}\,\mathrm{F}'' = \left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.11}\,\mathrm{B}^{\mathrm{IV}},$$

A^{IV} et B^{IV} désignant les dérivées quatrièmes de A et de B par rapport au temps et ainsi de suite.

La loi de formation est évidente, et l'on a pour z, se rapportant à la courbe AH, la série

$$(7)\qquad \begin{cases} z = \mathrm{A}x^2 + \mathrm{B}x^3 - \dfrac{1}{k^2}\dfrac{1}{3.4.5.6}\mathrm{A}''x^6 - \dfrac{1}{k^2}\dfrac{1}{4.5.6.7}\mathrm{B}''x^7 + \\ + \left(\dfrac{1}{k^2}\right)^2\dfrac{1}{3.4.\ldots.10}\mathrm{A}^{\mathrm{IV}}x^{10} + \left(\dfrac{1}{k^2}\right)^2\dfrac{1}{4.5.\ldots.11}\mathrm{B}^{\mathrm{IV}}x^{11}, \text{ etc.} \end{cases}$$

De même, en intégrant l'équation (5), on obtient, pour la courbe BH, l'équation semblable

$$(8)\qquad \begin{cases} z = \mathrm{A}_1x^2_1 + \mathrm{B}_1x^3_1 - \dfrac{1}{k^2}\dfrac{1}{3.4.5.6}\mathrm{A}''_1x^6_1 - \\ - \dfrac{1}{k^2}\dfrac{1}{4.5.6.7}\mathrm{B}''_1x^7_1 + \left(\dfrac{1}{k^2}\right)^2\dfrac{1}{3.4.\ldots.10}\mathrm{A}^{\mathrm{IV}}_1x^{10}_1 + \\ + \left(\dfrac{1}{k^2}\right)^2\dfrac{1}{4.5.\ldots.11}\mathrm{B}^{\mathrm{IV}}_1x^{11} - \text{etc.} \end{cases}$$

Tout se réduit maintenant à déterminer les quatre fonctions de t, A, B. A_1, B_1. Mais voyons auparavant ce que ces quatre fonctions représentent.

Il est clair que A représente $\frac{1}{2}\frac{d^2z}{dx^2}$ pour $x = 0$. Donc A est proportionnel à l'allongement ou au raccourcissement éprouvé par le point A de AH, depuis la position d'équilibre jusqu'à celle qui a lieu actuellement au temps t. De même, la fonction A_1 représente pour le point B de la courbe BH ce que la fonction A représente pour le point A.

En raisonnant de même, il est facile de reconnaître que la fonction B est proportionnelle, à chaque instant, à l'excès de la pression qui a lieu au point A sur celle qui a lieu, au même point, dans l'état d'équilibre et que la fonction B_1 représente, pour le point B de la courbe BH, ce que la fonction B représente pour le point A de la courbe AH.

Il s'agit maintenant de déterminer les quatre fonctions A, B, A_1 et B_1. Il faut pour cela quatre conditions.

Une première condition consiste à exprimer que, au point H, l'ordonnée des deux courbes AH et BH est la même ou que $y = y$.

Une seconde condition devra établir que, au même point H, les deux courbes ont la même tangente, ou que

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{dy}{dx_1}.$$

Par la troisième condition, on exprimera que, au même point H, les deux courbes ont le même rayon de courbure, ou que

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d^2y}{dx^2_1}.$$

Passons enfin à la quatrième condition. Si nous désignons par Y l'ordonnée, pour le temps t quelconque, de la trajectoire parcourue par le mobile, il est évident

que $Q\left(1 - \frac{1}{g}\frac{d^2Y}{dt^2}\right)$ ou $Q\left(1 - \frac{1}{g}Y''\right)$ représente, pour le temps t, la pression mutuelle entre la charge mobile et la poutre au point H. D'un autre côté, $-M\frac{d^3y}{dx^3}$ pour $x = Vt$ ou $-M\left(\frac{d^3y}{d^3x}\right)_{Vt}$ représente, en tenant compte des forces d'inertie et de la pression qui a lieu au point A, la somme de toutes les forces qui agissent sur AH. De même, $-M\frac{d^3y}{dx_1^3}$ pour $x_1 = l - Vt$ ou $-M\left(\frac{d^3y}{dx_1^3}\right)_{l-Vt}$ est la somme des forces qui agissent sur BH. De cette façon, on a, pour la quatrième condition,

$$-M\left(\frac{d^3y}{dx^3}\right)_{Vt} - M\left(\frac{d^3y}{dx_1^3}\right)_{l-Vt} = Q\left(1 - \frac{1}{g}Y''\right)$$

ou

$$\left(\frac{d^3y}{dx^3}\right)_{Vt} + \left(\frac{d^3y}{dx_1^3}\right)_{l-Vt} = -\frac{Q}{M}\left(1 - \frac{1}{g}Y''\right).$$

Ces quatre conditions peuvent être mises sous une forme qui soit plus en rapport avec les intégrales générales (7) et (8). D'abord, il est évident que les trois premières reviennent à

$$(9) \qquad (z)_{Vt} = (z)_{l-Vt},$$

$$(10) \qquad \left(\frac{dz}{dx}\right)_{Vt} = -\left(\frac{dz}{dx_1}\right)_{l-Vt},$$

et

$$(11) \qquad \left(\frac{d^2z}{dx^2}\right)_{Vt} = \left(\frac{d^2z}{dx_1^2}\right)_{l-Vt}.$$

Quant à la quatrième condition, il est facile de voir qu'elle revient à

$$(12) \quad \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{d^3z}{dx^3}\right)_{Vt} + \left(\frac{d^3z}{dx_1^3}\right)_{l-Vt} = -\frac{Q}{M}\left(1 - \frac{1}{g}Z''\right) + \\ \qquad + \frac{Qp V^2}{3.4M^2g}\left[l^2 - 6l(Vt) + 6(Vt)^2\right], \end{array} \right.$$

Z'' désignant la dérivée seconde, par rapport au temps de Z, c'est-à-dire de ce que devient z pour $x = Vt$.

Voyons maintenant à exprimer ces quatre conditions (9), (10), (11) et (12), à l'aide des intégrales (7) et (8). On a ainsi les quatre équations suivantes :

$$(13)\left\{\begin{array}{l} A(Vt)^2+B(Vt)^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{3.4.5.6}A''(Vt)^6-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6.7}B''(Vt)^7+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{3.4.\ldots.10}A^{IV}(Vt)^{10}+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.11}B^{IV}(Vt)^{11}-\text{etc.}= \\ =A_1(l-Vt)^2+B_1(l-Vt)^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{3.4.5.6}A''_1(l-Vt)^6- \\ -\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6.7}B''_1(l-Vt)^7+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{3.4.\ldots.10}A_1^{IV}(l-Vt)^{10}+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.11}B_1^{IV}(l-Vt)^{11}-\text{etc.} \end{array}\right.$$

$$(14)\left\{\begin{array}{l} 2A(Vt)+3B(Vt)^2-\frac{1}{k^2}\frac{1}{3.4.5}A''(Vt)^5-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6}B''(Vt)^6+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{3.4.\ldots.9}A^{IV}(Vt)^9+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.10}B^{IV}(Vt)^{10}-\text{etc.}= \\ =-2A_1(l-Vt)-3B_1(l-Vt)^2+\frac{1}{k^2}\frac{1}{3.4.5}A_1''(l-Vt)^5+ \\ +\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6}B_1''(l-Vt)^6-\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{3.4.\ldots.9}A_1^{IV}(l-Vt)^9- \\ -\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.10}B_1^{IV}(l-Vt)^{10}+\text{etc.} \end{array}\right.$$

$$(15)\left\{\begin{array}{l} 2A+2.3B(Vt)-\frac{1}{k^2}\frac{1}{3.4}A''(Vt)^4-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5}B''(Vt)^5+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{3.4.\ldots.8}A^{IV}(Vt)^8+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.9}B^{IV}(Vt)^9-\text{etc.}= \\ =2A_1+2.3B_1(l-Vt)-\frac{1}{k^2}\frac{1}{3.4}A_1''(l-Vt)^4-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5}B''_1(l-Vt)^5+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{3.4.\ldots.8}A_1^{IV}(l-Vt)^8+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.9}B_1^{IV}(l-Vt)^9-\text{etc.} \end{array}\right.$$

$$(16)\left\{\begin{array}{l} A''(Vt)^3+B''(Vt)^4-\frac{1}{k^2}\frac{1}{3.4.5.6}A^{IV}(Vt)^6-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6.7}B^{IV}(Vt)^7+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{3.4.\ldots.10}A^{VI}(Vt)^{10}+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.11}B^{VI}(Vt)^{11}-\text{etc.}+2.2A'V(Vt)+2.3B'V(Vt)^2-2\frac{1}{k^2}\frac{1}{3.4.5}A'''V(Vt)^5- \\ -2\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6}B'''V(Vt)^6+2\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{3.4.\ldots.9}A^{V}V(Vt)^9+2\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.10}B^{V}V(Vt)^{10}-\text{etc.}+ \\ +2AV^2+2.3BV^2(Vt)-\frac{1}{k^2}\frac{1}{3.4}A''V^2(Vt)^4-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5}B''V^2(Vt)^5+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{3.4.\ldots.8}A^{IV}V^2(Vt)^8+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.9}B^{IV}V^2(Vt)^9-\text{etc.}= \\ =g-\frac{pV^2}{3.4M}[l^2-6l(Vt)+6(Vt)^2]+\frac{Mg}{Q}\left\{\begin{array}{l} +2.3B-\frac{1}{k^2}\frac{1}{3}A''(Vt)^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4}B''(Vt)^4+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{3.4..7}A^{IV}(Vt)^7+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5..8}B^{IV}(Vt)^8-\text{etc.}+ \\ +2.3B_1-\frac{1}{k^2}\frac{1}{3}A_1''(l-Vt)^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4}B_1''(l-Vt)^4+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{3.4..7}A_1^{IV}(l-Vt)^7+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5..8}B_1^{IV}(l-Vt)^8-\text{etc.} \end{array}\right. \end{array}\right.$$

Il s'agit maintenant d'obtenir A, B, A_1, B_1, c'est-à-dire quatre fonctions de t, qui satisfassent aux quatre équations précédentes. Mais comme celles-ci, quoique linéaires, sont d'un ordre infini, voici comment nous allons procéder : Il est clair que A, B, A_1 et B_1 sont des fonctions de $\frac{1}{k^2}$. Supposons donc qu'on puisse les développer suivant les puissances de $\frac{1}{k^2}$, on aura alors

$$(17)\qquad A = a + \frac{1}{k^2}c + \left(\frac{1}{k^2}\right)^2 e + \left(\frac{1}{k^2}\right)^3 h + \text{etc.}$$

$$(18)\qquad B = b + \frac{1}{k^2}d + \left(\frac{1}{k^2}\right)^2 f + \left(\frac{1}{k^2}\right)^3 i + \text{etc.}$$

$$(19)\qquad A_1 = a_1 + \frac{1}{k^2}c_1 + \left(\frac{1}{k^2}\right)^2 e_1 + \left(\frac{1}{k^2}\right)^3 h_1 + \text{etc.}$$

$$(20)\qquad B_1 = b_1 + \frac{1}{k^2}d_1 + \left(\frac{1}{k^2}\right)^2 f_1 + \left(\frac{1}{k^2}\right)^3 i_1 + \text{etc.}$$

a, c, e, etc. ; b, d, f, etc. ; a_1, c_1, e_1, etc. ; b_1, d_1, f_1, etc., seront des fonctions de t qu'il s'agit maintenant de déterminer. Or, il est évident qu'en remplaçant A, B, A_1 et B_1 par les valeurs ci-dessus dans les équations (13), (14), (15) et (16), elles doivent devenir identiques, de sorte que les coefficients de chaque puissance de $\frac{1}{k^2}$ devront être égaux dans les deux membres de chacune de ces équations, et c'est là ce qui nous fournira le moyen de déterminer les fonctions a, c, e, etc. ; b, d, f, etc. ; a_1, c_1, e_1, etc. ; b_1, d_1, f_1, etc., attendu que ces dernières fonctions s'obtiendront à l'aide d'équations différentielles d'un ordre déterminé, tandis que A, B, A_1, B_1 dépendent d'équations différentielles d'un ordre infini.

Ainsi, pour connaître a, b, a_1 et b_1, on aura à résoudre les quatre équations

$$(21)\qquad a(Vt)^2 + b(Vt)^3 = a_1(l - Vt)^2 + b_1(l - Vt)^3.$$

$$(22)\qquad 2a(Vt) + 3b(Vt)^2 = -2a_1(l - Vt) - 3b_1(l - Vt)^2.$$

$$(23)\qquad 2a + 2.3b(Vt) = 2a_1 + 2.3b_1(l - Vt).$$

$$(24)\qquad \left\{\begin{array}{c} a''(Vt)^2 + b''(Vt)^3 + \\ + 2.2a'V(Vt) + 2.3b'V(Vt)^2 + \\ + 2aV^2 + 2.3bV^2(Vt) \end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{l} g - \dfrac{pV^2}{3.4M}[l^2 - 6lVt + 6(Vt)^2] + \\ \qquad + \dfrac{Mg}{Q}(2.3b + 2.3b_1). \end{array}\right.$$

Dans ces équations, je représente par a'', a', b'', b' les deux premières dérivées de a et de b.

On tire facilement de (21), (22) et (23),

$$(25)\qquad a = -b_1\frac{3l(l - Vt)^2}{Vt(3l - 2Vt)},$$

$$(26)\qquad b = b_1\frac{(l - Vt)^2(l + 2Vt)}{(Vt)^2(3l - 2Vt)}$$

$$(27)\qquad a_1 = -b_1\frac{3l(l - Vt)}{3l - 2Vt}.$$

Il reste à déterminer b_1, ce qui se fera en substituant pour a, b et a_1, les valeurs ci-dessus dans (24). Or, cette substitution peut se faire très-simplement comme il suit.

Remarquons que le premier membre de (24) est la dérivée seconde, par rapport à t, de $a(Vt)^2 + b(Vt)^3$, que je désignerai par $[a(Vt)^2 + b(Vt)^3]''$. Or, les valeurs (25) et (26) de a et de b, en fonctions de b_1, donnent

$$a(Vt)^2 + b(Vt)^3 = -2b_1\frac{(Vt)(l - Vt)^3}{3l - 2Vt}.$$

Le premier membre de (24) revient donc à

$$-2\left[b_1\frac{(Vt)(l - Vt)^3}{3l - 2Vt}\right]'',$$

en désignant ainsi la dérivée seconde de

$$-2b_1\frac{(Vt)(l-Vt)^3}{3l-2Vt}$$

par rapport au temps.

D'un autre côté, dans le second membre de (24) se trouve $\frac{Mg}{Q}(2.3b+2.3b_1)$. Or, à cause de (26), on a

$$2.3b+2.3b_1=2.3\frac{l^3}{(Vt)^2(3l-2Vt)}b_1.$$

Donc, enfin, l'équation (24) peut se mettre sous la forme

$$(28)\quad\begin{cases}2\left[b_1\dfrac{(Vt)(l-Vt)^3}{3l-2Vt}\right]+2.3\dfrac{Mgl^3}{Q(Vt)^2(3l-2Vt)}b_1=\\ \qquad=-g+\dfrac{pV^2}{3.4M}[l^2-6lVt+6(Vt)^2].\end{cases}$$

Si l'on pose

$$(29)\qquad b_1\frac{(Vt)(l-Vt)^3}{3l-2Vt}=6_1,$$

on aura, pour obtenir 6_1, l'équation différentielle linéaire du second ordre

$$26_1''+2.3\frac{Mgl^3}{Q(Vt)^3(l-Vt)^3}6_1=-g+\frac{pV^2}{3.4M}[l^2-6lVt+6(Vt)^2]$$

ou

$$(30)\quad\begin{cases}6_1''+\dfrac{3Mgl^3}{Q(Vt)^3(l-Vt)^3}6_1=-\dfrac{g}{2}+\\ \qquad+\dfrac{pV^2}{2.3.4M}[l^2-6lVt+6(Vt)^2].\end{cases}$$

Cette équation différentielle n'est pas du nombre de celles que l'on sache intégrer. Mais il suffit d'avoir une intégrale particulière de cette équation et on peut l'obtenir, sous forme d'une série très-convergente, de la manière suivante :

En négligeant $6_1''$ dans le premier membre de l'équation ci-dessus, on a une première valeur approchée de 6_1, savoir :

$$6_1=-\frac{Q}{2.3Ml^3}(Vt)^3(l-Vt)^3+$$
$$+\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}(Vt)^3(l-Vt)^3[l^2-6lVt+6(Vt)^2].$$

Pour avoir une seconde valeur plus approchée, il suffit, d'après l'équation (30), de retrancher de celle ci-dessus sa dérivée seconde, multipliée par $\frac{Q}{3Mgl^3}(Vt)^3(l-Vt)^3$. Ayant cette seconde valeur approchée, on aura, toujours d'après l'équation (30), une troisième expression plus approchée, en retranchant de la première valeur approchée le produit de $\frac{Q}{3Mgl^3}(Vt)^3(l-Vt)^3$ par la dérivée seconde de la seconde valeur approchée. En continuant toujours ainsi, on aura définitivement

$$(31)\quad\begin{cases}6_1=-\dfrac{Q}{2.3Ml^3}(Vt)^3(l-Vt)^3+\dfrac{Q}{3Mgl^3}\cdot\dfrac{Q}{2.3Ml^3}(Vt)^3(l-Vt)^3[(Vt)^3(l-\\ Vt)^3]''-\left(\dfrac{Q}{3Mgl^3}\right)^2\dfrac{Q}{2.3Ml^3}(Vt)^3(l-Vt)^3\{(Vt)^3(l-Vt)^3[(Vt)^3(l-\\ -Vt)^3]''\}''+\text{etc.}+\dfrac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}(Vt)^3(l-Vt)^3[l^2-6lVt+6(Vt)^2]-\\ -\dfrac{Q}{3Mgl^3}\cdot\dfrac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}(Vt)^3(l-Vt)^3\{(Vt)^3(l-Vt)^3[l^2-6lVt+\\ +6(Vt)^2]\}''+\left(\dfrac{Q}{3Mgl^3}\right)^2\dfrac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}(Vt)^3(l-Vt)^3\left\{\left[(Vt)^3(l-\right.\right.\\ \left.\left.-Vt)^3\{(Vt)^3(l-Vt)^3[l^2-6lVt+6(Vt)^2]\}''\right]\right\}''-\text{etc.}\end{cases}$$

Comme on le voit, 6_1 s'obtient par la somme de deux séries, dont la loi de formation est très-simple. Pour

chacune d'elles, les termes sont alternativement précédés du signe *plus* et du signe *moins*, et, en valeur absolue, chacun d'eux se déduit du terme précédent, en multipliant la dérivée seconde de celui-ci par $\frac{Q}{3Mgl^3}(Vt)^3(l-Vt)^3$. L'une de ces deux séries contient les termes qui sont indépendants de p et l'autre les termes qui sont multipliés par p. Toutes les deux sont très-rapidement convergentes, car, dans la pratique, $\frac{Q}{3Mgl^3}$ est toujours une très-petite quantité. Comme notation, j'ai indiqué par le signe $''$ la dérivée seconde, par rapport à t, de la fonction à laquelle il se rapporte.

Connaissant 6_1, on a de suite b_1 par la relation (29), et on obtient

$$(32)\quad \left\{\begin{aligned} b_1=&-\frac{Q}{2.3Ml^3}(Vt)^2(3l-2Vt)+\frac{Q}{3Mgl^3}\frac{Q}{2.3Ml^3}(Vt)^2(3l-\\ &-2Vt)[(Vt)^3(l-Vt)^3]''-\left(\frac{Q}{3Mgl^3}\right)^2\frac{Q}{2.3Ml^3}(Vt)^2(3l-2Vt)\{(Vt)^3(l-\\ &-Vt)^3[(Vt)^3(l-Vt)^3]''\}''+\text{etc.}+\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}(Vt)^2(3l-2Vt)[l^2-\\ &-6lVt+6(Vt)^2]-\frac{Q}{3Mgl^3}\cdot\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}(Vt)^2(3l-2Vt)\{(Vt)^3(l-\\ &-Vt)^3[l^2-6lVt+6(Vt)^2]\}''+\left(\frac{Q}{3Mgl^3}\right)^2\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}(Vt)^2(3l-\\ &-2Vt)\left\{\left[(Vt)^3(l-Vt)^3\{(Vt)^3(l-Vt)^3[l^2-6lVt+6(Vt)^2]\}''\right]\right\}''-\text{etc.}\end{aligned}\right.$$

Il est maintenant facile, à l'aide des relations (25), (26) et (27) et de l'expression ci-dessus, qui donne la valeur de b_1, d'obtenir les expressions qui donnent celles des fonctions a, b, a_1.

On a, de cette manière,

$$(33)\quad \left\{\begin{aligned} a=&\frac{Q}{2.3Ml^3}3l(Vt)(l-Vt)^2-\frac{Q}{3Mgl^3}\frac{Q}{2.3Ml^3}3l(Vt)(l-Vt)^2[(Vt)^3(l-\\ &-Vt)^3]''+\left(\frac{Q}{3Mgl^3}\right)^2\frac{Q}{2.3Ml^3}3l(Vt)(l-Vt)^2\{(Vt)^3(l-Vt)^3[(Vt)^3(l-\\ &-Vt)^3]''\}''-\text{etc.}-\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}3l(Vt)(l-Vt)^2[l^2-6lVt+6(Vt)^2]+\\ &+\frac{Q}{3Mgl^3}\cdot\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}3l(Vt)(l-Vt)^2\{(Vt)^3(l-Vt)^3[l^2-6lVt+\\ &+6(Vt)^2]\}''-\left(\frac{Q}{3Mgl^3}\right)^2\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}3l(Vt)(l-Vt)^2\left\{\left[(Vt)^3(l-\right.\\ &\left.-Vt)^3\{(Vt)^3\}(l-Vt)^3[l^2-6lVt+6(Vt)^2]\}''\right]\right\}''+\text{etc.}\end{aligned}\right.$$

$$(34)\quad \left\{\begin{aligned} b=&-\frac{Q}{2.3Ml^3}(l-Vt)^2(l+2Vt)+\frac{Q}{3Mgl^3}\frac{Q}{2.3Ml^3}(l-Vt)^2(l+\\ &+2Vt)[(Vt)^3(l-Vt)^3]''-\left(\frac{Q}{3Mgl^3}\right)^2\frac{Q}{2.3Ml^3}(l-Vt)^2(l+2Vt)\{(Vt)^3(l-\\ &-Vt)^3[(Vt^3)(l-Vt)^3]''\}''+\text{etc.}+\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}(l-Vt)^2(l+2Vt)[l^2-\\ &-6lVt+6(Vt)^2]-\frac{Q}{3Mgl^3}\cdot\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}(l-Vt)^2(l+2Vt)\{(Vt)^3(l-\\ &-Vt)^3[l^2-6lVt+6(Vt)^2]\}''+\left(\frac{Q}{3Mgl^3}\right)^2\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}(l-Vt)^2(l+\\ &+2Vt)\left\{\left[(Vt)^3(l-Vt)^3\{(Vt)^3(l-Vt)^3[l^2-6lVt+6(Vt)^2]\}''\right]\right\}''-\text{etc.}\end{aligned}\right.$$

$$(35)\quad \left\{\begin{aligned} a_1=&\frac{Q}{2.3Ml^3}3l(Vt)^2(l-Vt)-\frac{Q}{3Mgl^3}\frac{Q}{2.3Ml^3}3l(Vt)^2(l-Vt)[(Vt)^3(l-\\ &-Vt)^3]''+\left(\frac{Q}{3Mgl^3}\right)^2\frac{Q}{2.3Ml^3}3l(Vt)^2(l-Vt)\{(Vt)^3(l-Vt)^3[(Vt)^3(l-\\ &-Vt)^3]''\}''-\text{etc.}-\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}3l(Vt)^2(l-Vt)[l^2-6lVt+6(Vt)^2]+\\ &+\frac{Q}{3Mgl^3}\cdot\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}3l(Vt)^2(l-Vt)\{(Vt)^3(l-Vt)^3[l^2-6lVt+\\ &+6(Vt)^2]\}''-\left(\frac{Q}{3Mgl^3}\right)^2\frac{pQV^2}{3.2.3.4M^2gl^3}3l(Vt)^2(l-Vt)\left\{\left[(Vt)^3(l-\right.\\ &\left.-Vt)^3\{(Vt)^3(l-Vt)^3[l^2-6lVt+6(Vt)^2]\}''\right]\right\}''+\text{etc.}\end{aligned}\right.$$

Ayant obtenu les valeurs ci-dessus de a, b, a_1 et b_1, il s'agit maintenant de déterminer celles des quatre fonctions c, d, c_1 et d_1 qui entrent dans les expressions de A, B, A_1 et B_1, c'est-à-dire dans les formules (17), (18), (19) et (20). Les équations nécessaires s'obtiendront en remplaçant A, B, A_1 et B_1 par leurs valeurs générales (17), (18), (19) et (20) dans les équations (13), (14), (15) et (16) et en égalant, dans les deux membres de chacune de ces quatre équations, les coefficients de la première puissance de $\frac{1}{k^2}$. On obtient ainsi

$$(36)\quad \begin{cases} c(Vt)^2+d(Vt)^3-\frac{1}{3.4.5.6}a''(Vt)^6-\frac{1}{4.5.6.7}b''(Vt)^7= \\ =c_1(l-Vt)^2+d_1(l-Vt)^3-\frac{1}{3.4.5.6}a_1''(l-Vt)^6-\frac{1}{4.5.6.7}b_1''(l-Vt)^7. \end{cases}$$

$$(37)\quad \begin{cases} 2c(Vt)+3d(Vt)^2-\frac{1}{3.4.5}a''(Vt)^5-\frac{1}{4.5.6}b''(Vt)^6= \\ =-2c_1(l-Vt)-3d_1(l-Vt)^2+\frac{1}{3.4.5}a_1''(l-Vt)^5+\frac{1}{4.5.6}b_1''(l-Vt)^6. \end{cases}$$

$$(38)\quad \begin{cases} 2c+2.3d(Vt)-\frac{1}{3.4}a''(Vt)^4-\frac{1}{4.5}b''(Vt)^5= \\ =2c_1+2.3d_1(l-Vt)-\frac{1}{3.4}a_1''(l-Vt)^4-\frac{1}{4.5}b_1''(l-Vt)^5. \end{cases}$$

$$(39)\quad \begin{cases} c''(Vt)^2+d''(Vt)^3-\frac{1}{3.4.5.6}a^{IV}(Vt)^6-\frac{1}{4.5.6.7}b^{IV}(Vt)^7 \\ +2.2c'V(Vt)+2.3d'V(Vt)^2-2\frac{1}{3.4.5}a'''V(Vt)^5-2\frac{1}{4.5.6}b'''V(Vt)^6 \\ +2cV^2+2.3dV^2(Vt)-\frac{1}{3.4}a''V^2(Vt)^4-\frac{1}{4.5}b''V^2(Vt)^5 \end{cases} = \frac{Mg}{Q}\begin{cases} 2.3d-\frac{1}{3}a''(Vt)^3-\frac{1}{4}b''(Vt)^4+ \\ +2.3d_1-\frac{1}{3}a_1''(l-Vt)^3-\frac{1}{4}b_1''(l-Vt)^4. \end{cases}$$

Ces quatre équations serviront à déterminer e, d, e_1 et d_1, et la méthode pour les résoudre sera exactement la même que celle qui a fait connaître a, b, a_1 et b_1. Ainsi, en faisant

$$(40)\quad c(Vt)^2+d(Vt)^3-\frac{1}{3.4.5.6}a''(Vt)^6-\frac{1}{4.5.6.7}b''(Vt)^7=\delta_1,$$

les équations (36), (37), (38) et (40) donneront les valeurs de c, d, c_1 et d_1 en fonctions linéaires de δ_1, a'', b'', a''_1 et b''_1. L'équation (39) aura pour premier membre δ''_1, et son second membre serait une fonction linéaire de δ_1, a'', b'', a''_1 et b''_1. On obtiendra, sous forme d'une série très-convergente, une intégrale particulière de cette équation qui serait la valeur de δ_1, et on en conclura de suite c, d, c_1 et d_1. Connaissant ces dernières fonctions, on obtiendra e, f, e_1 et f_1 par le même procédé et ainsi de suite. On aura par là les fonctions cherchées A, B, A_1 et B_1.

Tous ces calculs peuvent se simplifier beaucoup dans l'application. Ainsi, à cause que $\frac{1}{k^2}$ est toujours extrêmement petit, on peut se borner à écrire

$$A=a+\frac{1}{k^2}c.$$

$$B=b+\frac{1}{k^2}d.$$

$$A_1=a_1+\frac{1}{k^2}c_1.$$

$$B_1=b_1+\frac{1}{k^2}d_1.$$

De plus, la recherche des fonctions c, d, c_1 et d_1 peut aussi être simplifiée par les considérations suivantes :

L'équation (39), transformée de manière à ne plus contenir que δ_1 d'inconnue, a pour premier membre δ_1'',

comme cela a déjà été expliqué. Or, le premier terme de la série convergente, qui donne δ_1, s'obtient en négligeant δ_1'', c'est-à-dire le premier membre de cette équation. Si l'on veut se borner, pour c, d, c_1 et d_1, à leurs premières valeurs approchées, ce qui est d'autant plus permis que, dans les expressions de A, B, A_1 et B_1, c, d, c_1 et d_1, sont multipliés par $\frac{1}{k^2}$, on peut remplacer, dans l'équation (39), son premier membre par o et écrire simplement

$$(41)\quad \begin{cases} 2.3d - \frac{1}{3}a''(Vt)^3 - \frac{1}{4}b''(Vt)^4 + \\ + 2.3d_1 - \frac{1}{3}a_1''(l-Vt)^3 - \frac{1}{4}b_1''(l-Vt)^4 = 0, \end{cases}$$

et tirer c, d, c_1 et d_1 des quatre équations très-simples (36), (37), (38) et (41). De plus, et pour les mêmes motifs, on peut pour ce calcul réduire a, b, a_1 et b_1 aux premiers termes des séries (32), (33), (34) et (35) et négliger dans ces séries tous les termes en p, qui sont d'un ordre de grandeur inférieur. On a alors :

$$(42)\quad \begin{cases} c = \frac{1}{4.5.6}\frac{QV^2}{Ml^7}\{2(l-Vt)^5(3Vt-7)(l+5Vt) - (Vt)^4(3Vt-2l)[3(l-Vt)(5l-4Vt)+Vt(3l-2Vt)]\} + \\ + \frac{1}{2}\frac{1}{5.6.7}\frac{QV^2}{Ml^5}\{(Vt)^5(2Vt-l)[7(l-Vt)(6l-5Vt)+(Vt)(7l-5Vt)] - 5(l-Vt)^5(2Vt-l)(l+6Vt)\}. \end{cases}$$

$$(43)\quad \begin{cases} d = \frac{1}{2.3}\frac{1}{5.5}\frac{QV^2}{Ml^5}\{(Vt)^3(3Vt-2l)[(Vt)^2(6l-5Vt)+5(l-Vt)^2(l+2Vt)] - (l-Vt)^5(3Vt-l)(4l+5Vt)\} + \\ + \frac{1}{2.3}\frac{1}{4.7}\frac{QV^2}{Ml^6}\{(l-Vt)^6(2Vt-l)(6l+8Vt) - (Vt)^4(2Vt-l)[(Vt)^2(7l-6Vt)+7(l-Vt)^2(l+2Vt)]\}. \end{cases}$$

$$(44)\quad \begin{cases} c_1 = \frac{1}{4.5.6}\frac{gV^2}{Ml^7}\{(l-Vt)^4(3Vt-l)[5Vt(l+4Vt)+(l-Vt)(l+2Vt)] - 2(Vt)^5(3Vt-2l)(6l-5Vt)\} + \\ + \frac{1}{2}\frac{1}{5.6.7}\frac{QV^2}{Ml^5}\{5(Vt)^6(2Vt-l)(7l-6Vt) - (l-Vt)^5(2Vt-l)[7Vt(l+5Vt)+(l-Vt)(2l+5Vt)]\}. \end{cases}$$

$$(45)\quad \begin{cases} d_1 = \frac{1}{2.3}\frac{1}{5.5}\frac{QV^2}{Ml^5}\{(Vt)^5(3Vt-2l)(9l-5Vt) - (l-Vt)^3(3Vt-l)[(l-Vt)^2(l+5Vt)+5(Vt)^2(3l-2Vt)]\} + \\ + \frac{1}{2.3}\frac{1}{4.7}\frac{QV^2}{Ml^6}\{(l-Vt)^4(2Vt-l)[(l-Vt)^2(l+6Vt)+7(Vt)^2(3l-2Vt)] - (Vt)^6(2Vt-l)(14l-8Vt)\}. \end{cases}$$

En se bornant à cet ordre d'approximation qui est très-amplement suffisant et négligeant les puissances de $\frac{1}{k^2}$ supérieures à la première, on aura en résumé :

1° Pour la courbe AH,

$$(46)\quad \left\{\begin{aligned} y=&\left(a+\frac{1}{k^2}c\right)x^2+\left(b+\frac{1}{k^2}d\right)x^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{3.4.5.6}a''x^6-\\ &-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6.7}b''x^7+\frac{pl^2}{2.3.4\mathrm{M}}x^2-\frac{pl}{3.4\mathrm{M}}x^3+\frac{p}{2.3.4\mathrm{M}}x^4. \end{aligned}\right.$$

Et 2°, pour la courbe BH,

$$(47)\quad \left\{\begin{aligned} y=&\left(a_1+\frac{1}{k^2}c_1\right)x_1^2+\left(b_1+\frac{1}{k^2}d_1\right)x_1^5-\frac{1}{k^2}\frac{1}{3.4.5.6}a_1''x_1^6-\\ &-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6.7}b_1''x_1^7+\frac{pl^2}{2.3.4\mathrm{M}}x_1^2-\frac{pl}{3.4\mathrm{M}}x_1^3+\frac{p}{2.3.4\mathrm{M}}x_1^4. \end{aligned}\right.$$

Toutes les conditions du problème sont remplies par ces formules. Cependant il y a quelque chose à dire à ce sujet relativement à l'état initial du système.

Quand $t=0$, le point H coïncide avec le point A et, à ce moment, toute la poutre appartient à la courbe BH, représentée par l'équation (47). Il faudrait donc pour $t=0$ que cette équation donne, quel que soit x_1,

$$y=\frac{pl^2}{2.3.4m}x^2-\frac{pl}{3.4\mathrm{M}}x_1^3+\frac{p}{2.3.4\mathrm{M}}x_1^4$$

et

$$\frac{dy}{dt}=0$$

Or, dans le cas actuel, la formule (47) satisfait à ces deux conditions avec une approximation parfaitement suffisante, car, en négligeant les termes multipliés par $\frac{1}{k^2}$, $\left(\frac{1}{k^2}\right)^2$, etc., on a pour $t=0$

$$a_1=0,\ b_1=0,\ a_1'=0,\ b_1'=0.$$

Je passe maintenant au second chapitre, traitant des poutres reposant librement à leurs extrémités sur deux appuis.

CHAPITRE II.

DES POUTRES REPOSANT LIBREMENT SUR DEUX APPUIS.

La méthode est exactement la même que celle qui a été exposée dans le chapitre précédent. Je me bornerai donc à signaler les différences.

Les équations (1), (2), (4), (5) subsistent sans aucune modification. La relation (3) est remplacée par

$$(48)\qquad y'=\frac{pl^3}{2.3.4\mathrm{M}}x-\frac{pl}{3.4\mathrm{M}}x^3+\frac{p}{2.3.4\mathrm{M}}x^4.$$

La différence dans les conditions relatives aux points extrêmes fait que les équations (7) et (8) doivent être changées. On a, en leur place,

$$(49)\quad \left\{\begin{aligned} z=&\mathrm{A}x+\mathrm{B}x^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3.4.5}\mathrm{A}''x^5-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6.7}\mathrm{B}''x^7+\\ &+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.9}\mathrm{A}^{\mathrm{IV}}x^9+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.11}\mathrm{B}^{\mathrm{IV}}x^{11}-\text{etc.} \end{aligned}\right.$$

$$(50)\quad \left\{\begin{aligned} z=&\mathrm{A}_1x_1+\mathrm{B}_1x_1^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3.4.5}\mathrm{A}_1''x_1^5-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6.7}\mathrm{B}_1''x_1^7+\\ &+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.9}\mathrm{A}_1^{\mathrm{IV}}x_1^9+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.11}\mathrm{B}_1^{\mathrm{IV}}x_1^{11}-\text{etc.} \end{aligned}\right.$$

L'équation (12) doit, de même, être remplacée par

$$(51)\quad \left(\frac{d^3z}{dx^3}\right)_{\mathrm{V}t}+\left(\frac{d^3z}{dx_1^3}\right)_{l-\mathrm{V}t}=-\frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{M}}\left(1-\frac{1}{g}\mathrm{Z}''\right)-\frac{\mathrm{Q}p\mathrm{V}^2}{2\mathrm{M}^2g}\mathrm{V}t(l-\mathrm{V}t).$$

Enfin, au lieu des quatre équations générales (13), (14), (15) et (16), on aura les suivantes :

$$(52)\quad \left\{\begin{array}{l} A(Vt)+B(Vt)^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3.4.5}A''(Vt)^5-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6.7}B''(Vt)^7+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.9}A^{IV}(Vt)^9+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.11}B^{IV}(Vt)^{11}-\text{etc.}= \\ =A_1(l-Vt)+B_1(l-Vt)^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3.4.5}A_1''(l-Vt)^5- \\ -\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6.7}B_1''(l-Vt)^7+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.9}A_1^{IV}(l-Vt)^9+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.11}B_1^{IV}(l-Vt)^{11}-\text{etc.} \end{array}\right.$$

$$(53)\quad \left\{\begin{array}{l} A+3B(Vt)^2-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3.4}A''(Vt)^4-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6}B''(Vt)^6+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.8}A^{IV}(Vt)^8+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.10}B^{IV}(Vt)^{10}-\text{etc.} \\ =-A_1-3B_1(l-Vt)^2+\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3.4}A_1''(l-Vt)^4+\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6}B_1^{IV}(l-Vt)^6- \\ -\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.8}A_1^{IV}(l-Vt)^8-\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.10}B_1^{IV}(l-Vt)^{10}+\text{etc.} \end{array}\right.$$

$$(54)\quad \left\{\begin{array}{l} 2.3B(Vt)-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3}A''(Vt)^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5}B''(Vt)^5+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.7}A^{IV}(Vt)^7+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.9}B^{IV}(Vt)^9-\text{etc.}= \\ =2.3B_1(l-Vt)-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3}A_1''(l-Vt)^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5}B_1''(l-Vt)^5+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.7}A_1^{IV}(l-Vt)^7+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.9}B_1^{IV}(l-Vt)^9-\text{etc.} \end{array}\right.$$

$$(55)\quad \left\{\begin{array}{l} A''(Vt)+B''(Vt)^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3.4.5}A^{IV}(Vt)^5-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6.7}B^{IV}(Vt)^7+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.9}A^{VI}(Vt)^9+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.11}B^{VI}(Vt)^{11}-\text{etc.} \\ +2A'V+2.3B'V(Vt)^2-2\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3.4}A'''V(Vt)^4-2\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6}B'''V(Vt)^6+ \\ +2\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.8}A^{V}V(Vt)^8+2\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.10}B^{V}V(Vt)^{10}-\text{etc.} \\ +2.3BV^2(Vt)-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3}A''V^2(Vt)^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5}B''V^2(Vt)^5+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.7}A^{IV}V^2(Vt)^7+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.9}B^{IV}V^2(Vt)^9-\text{etc.} \end{array}\right. =$$

$$= g+\frac{pV^2}{2M}(Vt)(l-Vt)+\frac{Mg}{Q}\left\{\begin{array}{l} 2.3B-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2}A''(Vt)^2-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4}B''(Vt)^4+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.6}A^{IV}(Vt)^6+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.8}B^{IV}(Vt)^8-\text{etc.} \\ +2.3B_1-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2}A_1''(l-Vt)^2-\frac{1}{k^2}\frac{1}{4}B_1''(l- \\ -Vt)^4+\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{2.3.\ldots.6}A_1^{IV}(l-Vt)^6+ \\ +\left(\frac{1}{k^2}\right)^2\frac{1}{4.5.\ldots.8}B_1^{IV}(l-Vt)^8-\text{etc.} \end{array}\right.$$

Les valeurs de a, b, a_1 *et* b_1, au lieu d'être données par les formules (52), (53), (54), (55), le sont par les suivantes :

$$(56)\quad \left\{\begin{array}{l} a=\frac{Q}{2.3Ml}(Vt)(l-Vt)(2l-Vt)-\frac{Q}{3Mgl}\frac{Q}{2.3Ml}(Vt)(l-Vt)(2l- \\ Vt)[(Vt)^2(l-Vt)^2]''+\left(\frac{Q}{3Mgl}\right)^2\frac{Q}{2.3Ml}(Vt)(l-Vt)(2l-Vt)\{(Vt)^2(l- \\ Vt)^2[(Vt)^2(l-Vt)^2]''\}''-\text{etc.}+\frac{pQV^2}{3.4M^2gl}(Vt)^2(l-Vt)-\frac{Q}{3Mgl}\frac{pQV^2}{3.4M^2gl} \\ (Vt)(l-Vt)(2l-Vt)[(Vt)^3(l-Vt)^3]''+\left(\frac{Q}{3Mgl}\right)^2\frac{pQV^2}{3.4M^2gl}(Vt)(l- \\ -Vt)(2l-Vt)\{(Vt)^2(l-Vt)^2[(Vt)^3(l-Vt)^3]''\}''-\text{etc.} \end{array}\right.$$

$$(57)\quad \begin{cases} b=-\dfrac{Q}{2.3Ml}(l-Vt)+\dfrac{Q}{3Mgl}\dfrac{Q}{2.3Ml}(l-Vt)[(Vt)^2(l-Vt)^2]''- \\ -\left(\dfrac{Q}{3Mgl}\right)^2\dfrac{Q}{2.3Ml}(l-Vt)\{(Vt)^2(l-Vt)^2[(Vt)^2(l-Vt)^2]''\}''+\text{etc.}- \\ -\dfrac{pQV^2}{3.4M^2gl}(Vt)(l-Vt)^2+\dfrac{Q}{3Mgl}\dfrac{pQV^2}{3.4M^2gl}(l-Vt)[(Vt)^3(l-Vt)^3]''- \\ -\left(\dfrac{Q}{3Mgl}\right)^2\dfrac{pQV^2}{3,4M^2gl}(l-Vt)\{(Vt)^2(l-Vt)^2[(Vt)^3(l-Vt)^3]''\}''+\text{etc.} \end{cases}$$

$$(58)\quad \begin{cases} a_1=\dfrac{Q}{2.3Ml}(Vt)(l-Vt)(l+Vt)-\dfrac{Q}{3Mgl}\dfrac{Q}{2.3Ml}(Vt)(l-Vt)(l+ \\ +Vt)[(Vt)^2(l-Vt)^2]''+\left(\dfrac{Q}{3Mgl}\right)^2\dfrac{Q}{2.3Ml}(Vt)(l-Vt)(l+Vt)\{(Vt)^2(l- \\ -Vt)^2[(Vt)^2(l-Vt)^2]''\}''-\text{etc.}+\dfrac{pQV^2}{3.4M^2gl}(Vt)^2(l-Vt)^2(l+Vt)- \\ -\dfrac{Q}{3Mgl}\dfrac{pQV^2}{3.4M^2gl}(Vt)(l-Vt)(l+Vt)[(Vt)^3(l-Vt)^3]''+ \\ +\left(\dfrac{Q}{3Mgl}\right)^2\dfrac{pQV^2}{3.4M^2gl}(Vt)(l-Vt)(l+ \\ +Vt)\{(Vt)^2(l-Vt)^2[(Vt)^3(l-Vt)^3]''\}''-\text{etc.} \end{cases}$$

$$(59)\quad \begin{cases} b_1=-\dfrac{Q}{2.3Ml}(Vt)+\dfrac{Q}{3Mgl}\dfrac{Q}{2.3Ml}(Vt)[(Vt)^2(l-Vt)^2]''- \\ -\left(\dfrac{Q}{3Mgl}\right)^2\dfrac{Q}{2.3Ml}(Vt)\{(Vt)^2(l-Vt)^2[(Vt)^2(l-Vt)^2]''\}''+\text{etc.} \\ -\dfrac{pQV^2}{3.4M^2gl}(Vt)^2(l-Vt)+\dfrac{Q}{3Mgl}\dfrac{pQV^2}{3.4M^2gl}(Vt)[(Vt)^3(l-Vt)^3]''- \\ -\left(\dfrac{Q}{3Mgl}\right)^2\dfrac{pQV^2}{3.4M^2gl}(Vt)\{(Vt)^2(l-Vt)^2[(Vt)^3(l-Vt)^3]''\}''+\text{etc.} \end{cases}$$

De même, dans le cas actuel, les valeurs de c, d, c_1 et d_1 sont données par les formules suivantes :

$$(60)\quad \begin{cases} c=\dfrac{1}{2.3}\dfrac{1}{3.4.5}\dfrac{QV^2}{Ml^2}(Vt)(l-Vt)\{(Vt)^2[5(2l-Vt)(4l- \\ -3Vt)+(Vt)(5l-3Vt)]+(l-Vt)^2[5(2l-Vt)(l+3Vt)- \\ -(l-Vt)(2l+3Vt)]\}. \end{cases}$$

$$(61)\quad d=-\left(\frac{1}{2\,3}\right)^2\frac{QV^2}{Ml}(Vt)(l-Vt)(2l-Vt).$$

$$(62)\quad \begin{cases} c_1=\dfrac{1}{2.3}\dfrac{1}{3.4.5}\dfrac{QV^2}{Ml^2}(Vt)(l-Vt)\{(l-Vt)^2[5(l+Vt)(l+ \\ +3Vt)+(l-Vt)(2l+3Vt)]+(Vt)^2[5(l+Vt)(4l-3Vt)- \\ -(Vt)(5l-3Vt)]\}. \end{cases}$$

$$(63)\quad d_1=-\left(\frac{1}{2.3}\right)^2\frac{QV^2}{Ml}(Vt)(l-Vt)(l+Vt).$$

Une remarque importante à faire consiste en ce que les fonctions a, b, c, d, e, f, etc. ; a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, etc., n'ont jamais t en dénominateur, et, par suite, ne peuvent pas devenir infinies par aucune des valeurs de Vt comprises entre o et l. La même remarque s'applique aux fonctions analogues du premier chapitre. La raison en est la suivante :

Quand il s'agit de déterminer un groupe de quatre fontions, telles que c, d, c_1 et d_1, par exemple, on a, pour le faire, quatre équations, dans lesquelles les coefficients de ces variables sont les mêmes que ceux de a, b, a_1 et b_1, dans les quatre équations d'où l'on a tiré ces quatre dernières fonctions. Il suit de là que les dénominateurs des valeurs de c, d, c_1 et d_1 doivent être les mêmes que ceux des valeurs de a, b, a_1 et b_1, et, comme celle-ci n'avaient pas t au dénominateur, on en conclut qu'il en est de même pour les valeurs de c, d, c_1, et d_1 ; par suite, il doit en être aussi de même de celles de e, f, e_1, f_1, etc. et la conclusion est générale.

En se bornant, comme approximation, à la première puissance de $\frac{1}{k^2}$, on pourra écrire en résumé :

$$(64)\quad y=\left(a+\frac{1}{k^2}c\right)x+\left(b+\frac{1}{k^2}d\right)x^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3.4.5}a''x^5- \\ -\frac{1}{k^2}\frac{1}{4.5.6.7}b''x^7+\frac{pl^3}{2.3.4M}x-\frac{pl}{3.4M}x^3+\frac{p}{2.3.4M}x^4$$

pour la courbe AH, et on aura, pour la courbe BH;

$$(65)\quad y=\left(a_1+\frac{1}{k^2}c_1\right)x_1+\left(b_1+\frac{1}{k^2}d_1\right)x_1^3-\frac{1}{k^2}\frac{1}{2.3.4.5}a_1''x_1^5-$$
$$-\frac{1}{k^4}\frac{1}{4.5.6.7}b_1''x_1^7+\frac{pl^3}{2.3.4\mathrm{M}}x_1-\frac{pl}{3.4\mathrm{M}}x_1^3+\frac{p}{2.3.4\mathrm{M}}x_1^4.$$

Par la solution qui vient d'être exposée, toutes les conditions du problème sont satisfaites, si ce n'est celles qui sont relatives à l'état initial du système, pour lesquelles les mêmes observations ont lieu que pour le problème analogue traité dans le premier chapitre. Ces observations même ont plus d'importance dans le cas actuel, attendu qu'ici, même au degré d'approximation correspondant à des termes multipliés par la première puissance de $\frac{1}{k^2}$, la condition relative à la figure initiale de la courbe BH, ou de la poutre, est seule satisfaite. Mais il n'en est pas de même de celle qui se rapporte aux vitesses initiales de ses différents points. C'est ce que l'on voit de suite en jetant les yeux sur les valeurs de a_1, b_1, c_1, d_1, etc. données par les équations (58), (59), (62), (63), etc. Néanmoins, je vais faire voir que cette circonstance n'a, dans tous les cas de la pratique, qu'une influence insensible et tout à fait négligeable.

Je rappellerai, tout d'abord, un théorème dû à Lagrange, et en vertu duquel si $\varphi(x)$ est une fonction quelconque de x, continue ou discontinue, qui soit nulle pour $x=0$ et pour $x=l$, et qui ne devienne infinie pour aucune valeur de x, comprise entre ces deux limites, on aura, pour toutes les valeurs de x, depuis $x=0$ jusqu'à $x=l$ inclusivement :

$$(66)\qquad \varphi(x)=\frac{2}{l}\Sigma\left(\int_0^l\varphi(x)\sin\frac{i\pi x}{l}\,dx\right)\sin\frac{i\pi x}{l},$$

i étant un nombre entier et positif et la caractéristique Σ indiquant une somme qui s'étend à toutes les valeurs de i, depuis $i=1$ jusqu'à $i=\infty$.

Je prendrai maintenant, pour point de départ, la solution précédemment trouvée. Les valeurs de y, qui ont été obtenues, tant pour la courbe AH que pour la courbe BH, vérifient toutes les conditions du problème, sauf celles relatives à l'état initial. Ainsi elles satisfont à l'équation aux différences partielles, ainsi qu'aux conditions particulières aux points extrêmes. Quant à l'état initial, la figure initiale de la poutre est donnée par ces mêmes valeurs de y; seulement, ces dernières valeurs de y donnent une certaine vitesse initiale pour les divers points de la poutre, tandis que, dans la réalité, pour $t=0$, la vitesse de chaque point est nulle.

Je désigne par $\varphi(x_1)$ la vitesse initiale donnée, pour les différents points de la courbe BH, par la solution précédemment trouvée. Cette fonction est donc connue. Je cherche maintenant l'équation du mouvement de la poutre si, n'ayant aucune charge mobile, elle partait de la position d'équilibre avec une vitesse initiale, pour chaque point, égale à $\varphi(x_1)$.

La valeur de y, qui répond à ce mouvement particulier, est donnée par l'équation suivante, où i est un nombre entier positif, qui doit varier depuis l'unité jusqu'à l'infini.

$$(67)\quad y=\frac{2l}{\pi^2k}\Sigma\left(\frac{1}{i^2}\int_0^l\varphi(x_1)\sin\frac{i\pi x_1}{l}\,dx_1\right)\sin\frac{i\pi x_1}{l}\sin\left(\frac{i\pi}{l}\right)^2kt.$$

En effet, cette relation satisfait à toutes les conditions du problème, tel que je l'ai posé. D'abord on a :

$$\frac{d^2y}{dt^2}=-k^2\frac{d^4y}{dx_1^4}.$$

Puis y et $\frac{d^2y}{dx_1^2}$ sont nuls, quel que soit t, pour $x_1 = 0$ et pour $x_1 = l$.

Enfin, pour $t = 0$, on a $y = 0$, quel que soit x_1, et

$$\frac{dy}{dt} = \frac{2}{l}\Sigma\left(\int_0^l \varphi(x_1)\sin\frac{i\pi x_1}{l}\,dx_1\right)\sin\frac{i\pi x_1}{l} = \varphi(x_1).$$

Pour que $\frac{dy}{dt}$ ait pour valeur $\varphi(x_1)$ pour $t = 0$, il faut qu'on puisse appliquer la formule (66) et, pour cela, il est nécessaire qu'on ait :

$$\varphi(o) = 0 \qquad \varphi(l) = 0$$

et que $\varphi(x_1)$ ne devienne infini pour aucune des valeurs de x_1, depuis 0 jusqu'à l. Or, c'est ce qui a lieu.

D'abord ($\varphi(o) = 0$, car $\varphi(x_1)$ ne contient que des puissances impaires de x_1 et pas de terme indépendant de x_1.

Je dis maintenant que $\varphi(l) = 0$. En effet, comme l'ordonnée du point H est la même pour la courbe AH et pour BH, quel que soit t, il en est de même de leurs dérivées par rapport au temps. Ces dérivées sont :

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{Vt} + V\left(\frac{dy}{dx}\right)_{Vt}$$

pour le point H considéré comme appartenant à la courbe AH et

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{l-Vt} - V\left(\frac{dy}{dx_1}\right)_{l-Vt}$$

pour le point H, faisant partie de la courbe BH.

On a donc :

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{Vt} + V\left(\frac{dy}{dx}\right)_{Vt} = \left(\frac{dy}{dt}\right)_{l-Vt} - V\left(\frac{dy}{dx_1}\right)_{l-Vt}.$$

Mais on sait que

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{Vt} = -\left(\frac{dy}{dx_1}\right)_{l-Vt}$$

Par conséquent, on a :

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{Vt} = \left(\frac{dy}{dt}\right)_{l-Vt}.$$

Faisant $t = 0$, on a :

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_l \quad \text{ou} \quad \varphi(l) = \left(\frac{dy}{dt}\right)_o.$$

Mais

$$\frac{dy}{dt} = A'x + B'x^3 - \text{etc.}$$

Donc

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_o = 0$$

et, par suite,

$$\varphi(l) = 0.$$

On peut d'ailleurs le vérifier d'après la valeur connue de $\varphi(x_1)$.

Enfin, je dis que $\varphi(x_1)$ ne devient infini pour aucune valeur de x_1, depuis o jusqu'à l.

En effet, il a déjà été expliqué que a_1, b_1, c_1, d_1, etc., ne contiennent pas t en dénominateur. Il en est de même de A_1, B_1 et de leurs dérivées. Par suite $\varphi(x_1)$ n'ayant pas t en dénominateur et ne se composant que de polynômes en Vt, ne peut pas devenir infini pour aucune des valeurs de x_1, depuis o jusqu'à l.

L'équation (67) représente donc véritablement le mouvement particulier en question, lequel est un mouvement vibratoire.

Ainsi, la différence absolue entre la solution qui a été obtenue et celle qui répond au problème réel con-

siste en ce que, dans la première, nous prenons la poutre, non pas à l'état de repos à l'origine du temps, mais exécutant, à partir de sa position d'équilibre, un mouvement vibratoire défini par l'équation (67). Or comme les oscillations qui correspondent à celui-ci sont très-petites, ainsi que les allongements qui en résultent, comparativement à ce qui a lieu dans ce mouvement général, on est fondé rigoureusement à en conclure que ce très-petit mouvement vibratoire n'a aucune influence appréciable, sur les ordonnées et les allongements des différents points de la poutre à un moment quelconque, et que tout se passe en résumé comme si la poutre partait sans vitesse initiale.

Pour bien connaître la petitesse des oscillations du mouvement vibratoire dont il s'agit, on peut se borner, comme approximation, aux termes indépendants de $\frac{1}{k^2}$ et écrire :

$$\varphi(x_1) = a'_{1_0} x_1 + b'_{1_0} x_1^3$$

en désignant par a'_{1_0} et par b'_{1_0} les valeurs initiales des dérivées premières de a_1 et de b_1.

Maintenant, en intégrant par parties, on trouve facilement :

$$\int_0^l x^m \sin\frac{i\pi x}{l} dx = (-1)^i \left[-\left(\frac{l}{i\pi}\right) l^m + m(m-1)\left(\frac{l}{i\pi}\right)^3 l^{m-2} - \right.$$
$$- m(m-1)(m-2)(m-3)\left(\frac{l}{i\pi}\right)^5 l^{m-4} +$$
$$+ m(m-1)\ldots(m-5)\left(\frac{l}{i\pi}\right)^7 l^{m-6} - \text{etc.}$$
$$\left. \pm m(m-1)\ldots 3.2.1\left(\frac{l}{i\pi}\right)^m l \right].$$

En s'aidant de cette formule, réduisant, par approximation, b'_{1_0} à la partie indépendante de $\frac{1}{k^2}$ et observant

que $\varphi(l) = 0$, comme cela a déjà été démontré, on obtient, pour l'équation (67), la formule équivalente qui suit :

$$(68) \qquad y = \frac{2}{\pi k}\left(\frac{l}{\pi}\right)^4 \frac{QV}{M}\left[\sin\frac{\pi x_1}{l} \sin\left(\frac{\pi}{l}\right)^2 kt - \right.$$
$$\left. - \frac{1}{2^5}\sin\frac{2\pi x_1}{l}\sin\left(\frac{2\pi}{l}\right)^2 kt + \frac{1}{3^5}\sin\frac{3\pi x_1}{l}\sin\left(\frac{3\pi}{l}\right)^2 kt - \text{etc.} \right].$$

Il est évident que le maximum de y donné par cette formule doit être sensiblement :

$$\frac{2}{\pi k}\left(\frac{l}{\pi}\right)^4 \frac{QV}{M},$$

et qu'il correspond à peu près à $x_1 = \frac{1}{2}l$.

Si l'on cherche le rapport de cette valeur à celle donnée par (65) pour $x_1 = l - Vt$ et $Vt = \frac{1}{2}l$, en négligeant les termes multipliés par $\frac{1}{k^2}$ ou par p, on trouve, pour ce rapport, après avoir remplacé π et g par leurs valeurs numériques, l'expression très-simple :

$$(69) \qquad \frac{Vl}{3k}.$$

De même, si l'on cherche le rapport de $\frac{d^2y}{dx_1^2}$ ou des allongements proportionnels dans les deux cas, on trouve, pour ce rapport, sensiblement :

$$(70) \qquad \frac{Vl}{4k}.$$

Or, dans la pratique, ces deux quantités sont toujours des fractions très-petites et négligeables, comme il est facile de s'en assurer.

Par exemple, dans le pont établi par M. l'ingénieur Brame, pour le chemin de fer de ceinture, au-dessus de la route départementale n° 14, on a, pour la poutre

intermédiaire, $\frac{Vl}{3k} = \frac{1}{22}$ et pour les poutres de tête, $\frac{Vl}{3k} = \frac{1}{21}$, en supposant même V = 30 mètres, ce qui correspond à une vitesse de 108 kilomètres à l'heure.

Dans le pont de la rue de l'Entrepôt, établi par le même ingénieur, pour le même chemin, on a $\frac{Vl}{3k} = \frac{1}{24}$ pour les poutres intermédiaires.

Pour un rail à doubles champignons égaux (modèle du chemin de fer de l'Ouest), posé librement sur deux appuis écartés de 1 mètre, on aurait :

$$\frac{Vl}{3k} = \frac{1}{20}.$$

La même conclusion est applicable à plus forte raison au cas traité dans le Ier chapitre, c'est-à-dire aux poutres encastrées par leurs deux extrémités ; car alors, comme on l'a vu, la vitesse initiale donnée par les formules est infiniment plus petite, comme étant composée de termes de l'ordre $\frac{1}{k^2}$.

Ainsi donc, les solutions générales qui viennent d'être données représentent bien les phénomènes tels qu'ils se passent réellement, car toutes les conditions du problèmes sont vérifiées et, quant à celles relatives à l'état initial, on voit, par ce qui précède, qu'elles sont satisfaites à un degré très-suffisant pour les besoins de la pratique.

Nous avons tenu compte, dans tout cet exposé, de l'inertie et de la charge de la poutre. Nous avons pu y avoir égard, rigoureusement, grâce à la décomposition que nous avons pu faire des fonctions A, B, A_1, et B_1, en séries d'autres fonctions ordonnées suivant les puissances croissantes de $\frac{1}{k^2}$ Quant aux conditions relatives aux points extrêmes, nous avons pu les exprimer très-facilement en développant y suivant les puissances croissantes de x. Ce dernier genre de développement est particulièrement commode dans tous les problèmes où l'on voudrait tenir compte de l'inertie de la masse agissante et où l'on négligerait l'énergie du support. J'en indiquerai plus loin quelques exemples.

En résumé, comme $\frac{1}{k^2}$ est toujours une fraction extrêmement petite, on voit facilement que, dans l'application, on pourra toujours négliger les termes multipliés par $\frac{1}{k^2}$, ce qui revient à négliger l'inertie de la poutre ; mais il était utile de suivre la marche que nous avons adoptée, afin de reconnaître que cela est bien réellement permis.

Une circonstance remarquable que les formules font voir consiste en ce que si la poutre, au lieu d'être en repos à l'origine du temps, était réellement douée de la vitesse initiale donnée par ces formules, celles-ci exprimeraient en toute rigueur toutes les circonstances du problème, et comme elles ne donnent pas un mouvement vibratoire, il en résulte que celui-ci, qui préexistait à l'arrivée de la charge mobile, serait éteint par le fait même du passage de celle-ci sur la poutre.

J'ai expliqué que, dans la pratique, on était conduit à faire abstraction de l'inertie de la poutre, ayant démontré que réellement celle-ci était négligeable. Quand on ne tient pas compte de la charge permanente représentée par les termes en p, on retombe alors sur les formules que M. Stokes a établies dans un travail très-intéressant inséré dans le recueil intitulé *Transactions*

of the Cambridge philosophical society, et dans lequel il néglige tout d'abord l'inertie de la poutre, sa charge permanente, et n'examine que le cas d'une poutre qui repose librement sur deux appuis.

Pour compléter ce travail, il restait à chercher l'influence de l'inertie de la poutre et de sa charge permanente et à obtenir une solution qui fût indépendante de l'état particulier des points extrêmes et qui s'appliquât aussi bien aux poutres encastrées ou libres à l'une ou l'autre extrémité qu'à celles qui reposent librement sur deux appuis.

Ce sont là les points que les solutions précédentes ont eu pour but de faire connaître pour les besoins de la pratique.

J'aurais pu traiter exactement de même le cas d'une poutre reposant librement sur un appui par une extrémité et encastré par l'autre; mais la méthode ne différant en rien, je me borne à l'indiquer.

Je passe maintenant aux applications de la théorie qui vient d'être exposée.

CHAPITRE III.

CONSÉQUENCES PRATIQUES DE LA THÉORIE PRÉCÉDENTE ET SON EXTENSION A D'AUTRES PROBLÈMES.

J'examinerai d'abord le cas de la poutre reposant librement sur deux appuis.

D'après ce qui a été démontré, on peut, avec une exactitude suffisante, écrire, pour la courbe AH :

$$(71)\qquad y = ax + bx^3 + \frac{pl^3}{2.3.4\,\mathrm{M}}x - \frac{pl}{3.4\,\mathrm{M}}x^3 + \frac{p}{2.3.4\,\mathrm{M}}x^4,$$

et pour la courbe BH :

$$(72)\qquad y = a_1x_1 + b_1x_1^3 + \frac{pl^3}{2.3.4\,\mathrm{M}}x_1 - \frac{pl}{3.4\,\mathrm{M}}x_1^3 + \frac{p}{2.3.4\,\mathrm{M}}x_1^4.$$

Le point important à déterminer, c'est l'allongement subi par la poutre en ses différents points et à chaque instant afin de connaître sa valeur maxima. L'expression analytique de cet allongement est proportionnelle à $\frac{d^2y}{dx^2}$ pour la courbe AH et à $\frac{d^2y}{dx_1^2}$ pour BH.

D'après les valeurs connues de b et de b_1, il est facile de conclure que, excepté quand la charge mobile est sensiblement aux extrémités de la poutre, le point de celle-ci, qui à chaque instant correspond au plus grand allongement, est celui qui occupe, à cet instant, la position de la charge, et qui correspond, en conséquence, à $x = \mathrm{V}t$ et à $x_1 = l - \mathrm{V}t$, et que l'instant où ce point éprouve le plus fort allongement répond à $\mathrm{V}t = \frac{l}{2}$, c'est-à-dire au moment où la charge est au milieu de la poutre.

On a alors, pour ce point et à cet instant, en se bornant à prendre, pour b, les deux premiers termes de la série en Q et le premier terme de la série en p et remplaçant pl par P, ou par le poids total de la poutre, y compris la charge permanente, cette expression très-simple :

$$(73)\qquad -\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{\mathrm{Q}l}{4\mathrm{M}}\left(1 + \frac{\mathrm{QV}^2l}{3\mathrm{M}g}\right) + \frac{\mathrm{P}l}{8\mathrm{M}}\left(1 + \frac{\mathrm{QV}^2l}{4\mathrm{M}g}\right),$$

qui est proportionnelle à l'allongement maximum de la poutre pendant le passage de la charge mobile.

Comme $\frac{\mathrm{QV}^2l}{4\mathrm{M}g}$ est un peu plus petit que $\frac{\mathrm{QV}^2l}{3\mathrm{M}g}$, et que, à l'état de repos, la charge permanente équivaudrait, pour l'allongement maximum, à un poids égal à sa

moitié appliqué au milieu de la poutre, on peut dire que l'effet du mouvement de la charge est d'augmenter l'allongement statique, dans un rapport dont la limite très-rapprochée est égale à $\frac{QV^2l}{3Mg}$.

Si le terme $\frac{QV^2l}{3Mg}$ était trop voisin de l'unité, il faudrait ajouter un terme de plus qui serait $2{,}5\left(\frac{3Mg}{QV^2l}\right)^2$; le rapport susdit deviendrait :

$$\frac{QV^2l}{3Mg} + 2.5\left(\frac{QV^2l}{3Mg}\right)^2.$$

Mais, dans les ponts, l'expression $\frac{QV^2l}{3Mg}$ est très-généralement assez petite pour que cela ne soit pas nécessaire. Ainsi, pour le premier pont de M. Brame, on trouve $\frac{QV^2l}{3Mg} = 0{,}124$ ou environ $\frac{1}{8}$, en supposant même une vitesse de 108 kilomètres à l'heure.

Pour un rail, modèle de l'Ouest, où $M = 197600$, on trouve pour $Q = 5.000$ kilogrammes, $V = 20$ mètres, ce qui correspond à 72 kilomètres à l'heure et $l = 0^m{,}70$, $\frac{QV^2l}{3Mg} = 0.233$ ou près de $\frac{1}{4}$, influence qui n'est pas négligeable. Pour $Q = 6.000$ kilogrammes, on aurait $\frac{1}{3}$.

L'expression $\frac{QV^2l}{3Mg}$ conduit à quelques conséquences générales qu'on peut énoncer comme suit :

1° L'accroissement de l'allongement maximum comparé à cet allongement et dû au mouvement est généralement assez faible dans les ponts pour pouvoir être négligé. C'est ce que l'expérience confirme. Dans les

cas rares où il faudrait en tenir compte, il serait donné par la formule très-simple $\frac{QV^2l}{3Mg}$.

2° Le rapport de cet accroissement est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnel à la charge, à l'écartement des points d'appui et au quarré de la vitesse et en raison inverse du moment d'élasticité. Ces résultats sont d'accord avec ce que l'expérience a fait jusqu'ici soupçonner quant à la part d'influence des divers éléments.

3° Toutes choses égales d'ailleurs, on voit que, comme construction, il y a avantage à rapprocher les points de support et à augmenter l'épaisseur des poutres afin d'avoir un plus grand moment d'élasticité.

Je passe maintenant au cas de la poutre encastrée par ses deux extrémités.

On peut, alors avec une très-grande approximation, remplacer les formules (46) et (47) respectivement par

$$(74)\quad y = ax^2 + bx^3 + \frac{pl^2}{2.3.4M}x^2 - \frac{pl}{3.4M}x^3 + \frac{p}{2.3.4M}x^4$$

se rapportant à la courbe AH et par

$$(75)\quad y = a_1x_1^2 + b_1x_1^3 + \frac{pl^2}{2.3.4M}x_1^2 - \frac{pl}{3.4M}x_1^3 + \frac{p}{2.3.4M}x_1^4$$

relative à la courbe BH.

L'expression analytique de l'allongement est proportionnelle à $\frac{d^2y}{dx^2}$ pour la première de ces deux relations et à $\frac{d^2y}{dx_1^2}$ pour la seconde.

On reconnaît encore ici que, excepté quand la charge est sensiblement aux extrémités de la course, l'allongement maximum a lieu, à chaque instant, au point où

se trouve cette charge, et que l'allongement maximum, pour ce point, a lieu quand celle-ci est au milieu de la poutre.

On a alors en ce point :

$$(76) \quad -\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{Ql}{8M}\left(1+\frac{QV^2l}{8Mg}\right)+\frac{Pl}{24M}\left(1+\frac{QV^2l}{4Mg}\right).$$

Ici, la fraction $\frac{QV^2l}{8Mg}$ représente le rapport de l'accroissement de l'allongement maximum dû au mouvement à cet allongement statique pour la portion de cet allongement due à la charge, et $\frac{QV^2l}{4Mg}$ représente le même rapport pour l'allongement dû au poids même de la poutre.

Supposons par exemple qu'il s'agisse d'un rail encastré par ses deux extrémités.

Soient $Q = 6.000$ kilomètres,

$V = 30$ mèt. qui répond à 108 kilomèt. à l'heure,

et $l = 1$ mètre.

Avec le rail de l'Ouest on a $M = 197{,}600$.

On trouve $\frac{QV^2l}{8Mg} = \frac{1}{3}$.

Avec $V = 20$ mètres, ce qui répond à 72 kilomètres à l'heure, on aurait :

$$\frac{QV^2l}{8Mg} = 0{,}13.$$

Le point essentiel sera donc de faire en sorte que $\frac{QV^2l}{8Mg}$ soit toujours une petite fraction.

On retrouve encore ici les mêmes conséquences que dans le cas précédent.

1° Le rapport de l'augmentation de l'allongement à

l'allongement est proportionel : à la charge, à l'écartement des points d'appui et au quarré de la vitesse et en raison inverse du mouvement d'élasticité,

2° Comme construction, il y a avantage à rapprocher les points d'encastrement et à augmenter l'épaisseur, et par suite le moment d'élasticité de la poutre ou de la barre.

Si $\frac{QV^2l}{8Mg}$ était trop voisin de l'unité, il faudrait, dans les séries qui donnent a et b, prendre un terme de plus.

Dans tous les cas de la pratique, ce qu'il y aura de plus simple à faire est ceci. Comme il faut toujours que la poutre puisse supporter la charge au repos, on commencera par calculer les dimensions de cette poutre en conséquence, d'après les règles ordinaires. Puis, l'on vérifiera si la quantité $\frac{QV^2l}{3Mg}$ dans le cas de la poutre appuyée librement par ses deux extrémités, ou $\frac{QV^2l}{8Mg}$ dans le cas de la poutre encastrée par ses deux bouts, est assez petite. Dans ce dernier cas, et si la charge permanente n'était pas négligeable, il faudrait en outre que $\frac{QV^2l}{4Mg}$ fût une petite fraction. Dans le cas où ces diverses fractions ne seraient pas assez petites, on diminuerait l'écartement des points extrêmes ou l'on augmenterait le moment d'élasticité de la poutre jusqu'à ce que la fraction dont il s'agit devienne négligeable.

J'ai dit que d'autres problèmes pouvaient se résoudre de même. Par exemple : 1° le mouvement oscillatoire d'une poutre, quel que soit l'état des points extrêmes, sous l'action d'une charge placée, à demeure, en l'un quelconque de ses points ; 2° le mouvement oscillatoire

d'une tige verticale sous l'action d'un poids suspendu à une extrémité.

Je me borne à indiquer ces questions, pour ne pas m'écarter du sujet principal que j'ai eu en vue de traiter.

NOTICE

SUR LE MARTEAU-PILON HYDRAULIQUE A RESSORT D'AIR COMPRIMÉ DE MM. GUILLEMIN ET MINARY, CONSTRUCTEURS A CASAMÈNE (PRÈS DE BESANÇON).

Par H. RÉSAL, ingénieur des mines.

Le marteau-pilon à vapeur offre sur les marteaux à manche, auxquels il est substitué, dans un grand nombre de cas, depuis plusieurs années, l'avantage de pouvoir s'approprier d'une manière pour ainsi dire mathématique aux résultats que l'on veut obtenir. Il permet, en effet, à l'ouvrier, 1° dans le cours de la transfiguration d'une masse métallique, qui nécessite successivement des effets dynamiques si variables, de régler à chaque instant et dans certaines limites, la hauteur de la chute et *la volée;* 2° à la fin de l'opération, de donner exactement à l'objet la nouvelle forme qu'il doit affecter, par suite de la faculté de pouvoir limiter la course du marteau à une distance déterminée de l'enclume.

Mais ces précieuses propriétés ne sont obtenues qu'à des conditions désavantageuses sous d'autres rapports; car, comme on n'utilise ici ni la détente, ni la condensation, il faut, pour produire un effet donné, dépenser une quantité de vapeur et de combustible relativement très-considérable, et cela, joint aux intermittences indispensables dans le jeu de la machine, exige qu'une chaudière soit affectée spécialement à la mise en mouvement du marteau.

Il résulte de là que, si l'on n'a pas à sa disposition

quelques appareils métallurgiques dont on puisse utiliser la chaleur perdue pour alimenter le générateur, comme cela arrive dans beaucoup d'ateliers de construction, le marteau-pilon devient très-dispendieux, puisque pour quelques heures de marche, il est nécessaire d'entretenir en feu toute la journée une chaudière à vapeur dont la surface de chauffe, proportionnelle à la quantité de vapeur dépensée à chaque oscillation du marteau, est en général considérable. De plus, il faut, pour manœuvrer le tiroir, un homme spécial qui est exposé à ne pas toujours saisir les ordres qui lui sont donnés par le maître-ouvrier ; enfin, le marteau présente une très-forte masse, utile dans certains cas, mais à laquelle, dans beaucoup d'autres, on pourrait substituer une masse moindre avec une vitesse plus grande.

Plusieurs constructeurs ont essayé de supprimer le cylindre à vapeur du marteau-pilon et de se servir, pour soulever ce dernier, d'un arbre de couche, mis en mouvement par un moteur quelconque, par l'intermédiaire d'une roue à cames. Ces essais n'ont abouti qu'à supprimer les propriétés essentielles du marteau, qui alors ne présente pas plus d'avantages que les marteaux à manche. Cependant il convient de dire que M. Schmerbeer de Tagolsheim est parvenu, il y a plusieurs années, à atténuer convenablement les chocs des cames contre le marteau, au moyen de rondelles en caoutchouc, alternant avec des plaques de tôle, placées au point de percussion, et à réduire la masse en mouvement, en la faisant buter, à la partie supérieure de sa course, contre un heurtoir composé, comme ci-dessus, de rondelles alternatives de caoutchouc et de tôle, et dont les effets se conçoivent facilement ; mais les rondelles en caoutchouc s'altèrent promptement et nécessitent des réparations fréquentes et dispendieuses.

On doit à MM. Guillemin et Minary, constructeurs à Casamène, près de Besançon, d'avoir construit un marteau-pilon, réunissant aux avantages du marteau à vapeur ceux du marteau de M. Schmerbeer, dans des limites plus étendues, et en évitant l'emploi peu pratique des rondelles en caoutchouc : c'est de ce nouveau marteau, représenté par les *fig.* 1, 2, 3 (Pl. XI), que nous allons maintenant nous occuper.

Le marteau-pilon m, m, m (*fig.* 1) se termine à sa partie supérieure par un piston p, qui joue dans un corps de pompe dont la plaque supérieure est munie d'une soupape s pressée par un ressort et qui ne s'ouvre de bas en haut que sous une pression déterminée ; une pompe foulante f, mise en mouvement par un excentrique monté sur un arbre-moteur a, injecte de l'huile sous le piston par l'intermédiaire d'un tuyau ttt, limité à quelque distance au-dessous du corps de pompe, mais qui est dans cette région enveloppé par un tube en cuivre $t't't'$, fixé au marteau et serré contre le premier tube au moyen d'une boîte à cuirs.

Une petite vis, placée à $0^m,04$ en contre-bas de la partie supérieure du tube extérieur, permet, lorsqu'on veut mettre le marteau en état de marcher, de faire sortir l'air de la conduite, mais de manière à conserver un petit coussinet d'air pour éviter les coups du bélier.

La soupape s prend l'air un peu au-dessous de la plaque supérieure du cylindre, afin de constituer un matelas d'air destiné à amortir les chocs pouvant résulter du cas où le marteau, mal conduit, se trouverait soulevé à une hauteur trop considérable.

Le piston ϖ de la pompe à l'huile peut glisser le long de sa tige sur une certaine longueur, limitée à la partie supérieure par un arrêt et à la partie inférieure, à l'extrémité de la tige, par un disque qui soutient ce piston

et ferme les ouvertures cylindriques verticales dont il est muni. A la partie supérieure de la surface interne du corps de pompe, et sur une certaine hauteur, on a ménagé huit cannelures hémi-cylindriques, tandis qu'à la partie inférieure aboutit un tuyau τ, communiquant avec la bâche à huile et muni d'un robinet r' dans la partie moyenne, et d'un clapet s'ouvrant de bas en haut s'' à son extrémité inférieure.

Cela posé, admettons que l'appareil renferme la quantité d'huile voulue et que le robinet r' soit fermé; le piston ϖ, dans son mouvement ascendant, fera le vide au-dessous de lui, et en refoulant l'huile supérieure, soulèvera le marteau jusqu'au moment où le même piston sera arrivé à la hauteur des cannelures; ces dernières établissant une communication entre les deux parties du corps de pompe, pendant la durée du point mort de la pompe, permettront au marteau de retomber; mais alors le piston de la pompe redescend, et, par les ouvertures dont il est muni, la communication entre les deux parties du corps de pompe persiste jusqu'à l'extrémité de la course.

Supposons maintenant que le marteau ne renferme pas d'huile et qu'on veuille le mettre en mouvement; on ouvrira le robinet r' ainsi que l'ouverture fermée par une vis située à la partie supérieure du tube en cuivre du piston; l'huile s'élèvera dans l'appareil sous l'action de la pompe et lorsqu'elle aura atteint la hauteur voulue, on fermera le robinet et l'ouverture ci-dessus.

On n'a pas représenté sur la figure, afin de ne pas la compliquer inutilement, une chapelle en fonte, formant corps avec le tuyau τ, située au-dessus de la bâche à huile et remplaçant la partie verticale de ce tuyau. Cette chapelle renferme deux clapets placés à

une certaine distance l'un au-dessus de l'autre, remplissant le même but que la soupape s''; mais l'intervalle entre ces deux clapets communique avec le cylindre d'une petite pompe foulante à piston plongeur, et qui a pour objet de remplir le marteau d'huile, à bras d'homme, lorsque l'arbre moteur a n'est pas en mouvement.

Sur le côté du corps de pompe se trouve un robinet d'équilibre r (*fig.* 1) qui permet d'établir à volonté, au moyen d'un levier l, une communication entre les deux compartiments du corps de pompe et de faire tomber le marteau lorsqu'il est arrivé à un point quelconque de sa course ascendante.

L'huile en partant de la pompe pour aller sous le marteau, traverse une boîte dans laquelle peut se mouvoir un tiroir 0, placé sur l'orifice d'arrivée du liquide; la tige F de ce tiroir, prolongée dans les deux sens pour empêcher la pression de faire remonter cet organe, est munie à sa partie supérieure et à deux hauteurs différentes, de deux appendices, croisés sous un angle de 20°; la tige F est rendue mobile, dans une certaine limite, autour de son axe, de manière à ce que chacun des deux appendices puisse à volonté recevoir l'action de haut en bas pour l'un, de bas en haut pour l'autre de l'axe prolongé, formant came, de l'articulation de la tige du piston de la pompe et de la bielle. Il résulte de cette disposition que l'on peut interrompre complétement la rentrée de l'huile dans le corps de pompe et suspendre le marteau en un point déterminé de sa course; il suffit pour cela, dans le mouvement ascendant du marteau, de faire agir la came sur l'appendice inférieur de la tige du tiroir. Le tiroir a d'ailleurs la faculté de pouvoir se déplacer d'une petite quantité

parallèlement à l'axe de l'orifice qu'il recouvre, afin de permettre le refoulement de l'huile qui se trouve encore au-dessus du piston lorsque les communications ont été interrompues.

La soupape s permet de limiter la course du marteau à une distance déterminée de l'enclume, en l'ouvrant pendant un certain temps, lors de la demi-oscillation ascendante du marteau, et la refermant lorsque ce dernier est sur le point de retomber. On conçoit facilement comment la pression atmosphérique agissant sur la face inférieure du piston produit l'effet énoncé.

En outre de la soupape s, la plaque supérieure du corps de pompe à air comprimé est munie d'une soupape s', s'ouvrant de bas en haut, qui a pour objet de laisser à volonté rentrer l'air extérieur dans le corps de pompe, lorsque, après avoir soulevé la soupape s, on a fait échapper une partie de ce gaz dans le mouvement ascendant du marteau. Les leviers des soupapes s et s' n'ont pas été indiqués sur la figure, ainsi que celui qui a pour objet de faire manœuvrer la tige F, afin d'éviter toute complication inutile ; ils sont, ainsi que le levier l, à la portée de l'un quelconque des ouvriers qui travaillent à la pièce placée sous le marteau (*).

Pour se faire une idée bien nette des propriétés du marteau de MM. Guillemin et Minary, appelons :

l, la longueur de la course du marteau;

a, la distance au fond supérieur du cylindre à air comprimé, de l'orifice intérieur du tuyau de communication avec la soupape s;

S, la surface du piston du marteau ;

(*) gg, hh représentent respectivement les poulies destinées à recevoir l'action d'une courroie de transmission et le volant.

Ω, la section droite du tube en cuivre $t't't'$;

π, la pression atmosphérique;

p, la pression variable sur Ω lors de la chute du marteau;

h, la hauteur verticale à laquelle se trouve le fond supérieur du cylindre à air comprimé au-dessus du niveau du sol sur lequel repose l'appareil;

δ, le poids spécifique de l'huile ;

P, le poids du marteau.

Supposons que l'on ait expulsé l'air du corps de pompe du marteau à partir du moment, où dans son mouvement ascendant, la distance du piston du marteau au fond supérieur de ce corps de pompe était a' ; la pression maximum de l'air dans cet espace sera $\frac{a'}{a}\pi$; quand le piston sera redescendu de la hauteur x, la pression sera $\frac{a'}{a+x}\pi$ et le travail correspondant

$$Sa'\pi\int_0^x \frac{dx}{a+x} = Sa'\pi\log\left(1+\frac{x}{a}\right).$$

Le travail de la contre-pression étant

$$(S-\Omega)\pi x + \Omega\int_0^x p\,dx,$$

et celui de la pesanteur Px, on aura, en appelant V la vitesse du marteau dans sa chute et négligeant les frottements,

$$(1)\quad \frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 = \pi\left[Sa'\log\left(1+\frac{x}{a}\right)-(S-\Omega)x\right]+Px-\Omega\int_0^x p\,dx.$$

Cela posé, désignons par q et b la pression et la hauteur du coussinet d'air placé sous le marteau, lorsque ce dernier se trouve au point le plus élevé de sa course ; y la hauteur du même coussinet en un point quelconque de la chute du marteau ; v la vitesse

de l'huile à son niveau supérieur, relative à cette même période dans le jeu de l'appareil. La masse de gaz placée sous le marteau étant très-petite, on peut en négliger le poids et l'inertie, et prendre

$$p = \frac{qb}{y}. \tag{2}$$

D'un autre côté, le mouvement de l'huile dans sa chute sera représenté par une équation de la forme

$$K\frac{v^2}{2g} + \frac{\Omega}{g}\cdot\frac{dv}{dt}\int\frac{dz}{\omega} = h - a - y - x\left(1 - \frac{\Omega}{\Omega'}\right) + \frac{p}{\delta},$$

K étant un coefficient dépendant des variations de section du tuyau de conduite et de la nature des frottements (qui, en raison de la valeur considérable de la vitesse v, donnent approximativement un terme proportionnel à v^2) et qu'il est facile de calculer ; z la longueur de l'axe de la conduite comprise entre le point où la section est ω et le fond du cylindre de la pompe. L'intégrale doit être prise entre le niveau supérieur et le niveau du liquide rentré sous le piston ; mais si l'on remarque que y et x sont très-petits par rapport à h et à la longueur z de la conduite, comprises entre les fonds inférieurs des cylindres du marteau et de la pompe, on pourra remplacer approximativement l'équation ci-dessus par la suivante :

$$K\frac{v^2}{2g} + \frac{K'}{2g}\frac{dv}{dt} = h - a + \frac{p}{\delta}, \tag{3}$$

$\frac{K'}{2}$ désignant la constante $\Omega\int_o\frac{dz}{\omega}$.

Enfin on a

$$\begin{cases} v - V = \dfrac{dy}{dt}, \\ V = \dfrac{dx}{dt}. \end{cases} \tag{4}$$

Les équations (1), (2), (3), (4), entre V, p, v, x, y, seront suffisantes pour déterminer ces inconnues. En premier lieu, l'équation (1) donne, en remarquant que $\int_o^x p\,dx = \int_o^t pv\,dt$, différentiant par rapport au temps, et divisant par $\frac{dx}{dt}$,

$$\frac{P}{g}\frac{d^2x}{dt^2} = \pi\left[\frac{Sa'}{x+a} - (S-\Omega)\right] + P - \Omega\frac{qb}{y}; \tag{5}$$

l'équation (3) donne ensuite

$$\frac{K}{2g}\left(\frac{d(y+x)}{dt}\right)^2 + \frac{K'}{2g}\frac{d^2(y+x)}{dt^2} = h - a + \frac{qb}{\delta y}. \tag{6}$$

On est donc conduit à intégrer les deux équations différentielles simultanées (5) et (6) entre les deux fonctions x et y de t, dans lesquelles q sera donné par

$$\pi\cdot\frac{a'}{a}S + P = \pi(S-\Omega) + q\Omega,$$

d'où

$$q = \frac{\pi}{\Omega}\left[\frac{a'}{a}S + \frac{P}{\pi} - (S-\Omega)\right] \tag{7}$$

et b par

$$\pi\cdot c = qb. \tag{8}$$

c étant la hauteur du coussinet d'air lorsque le marteau est au point le plus bas de sa chute, et qui est l'une des données de la question.

Mais l'intégration de ces équations présente des difficultés insurmontables dans l'état actuel de l'analyse et que nous éviterons en adoptant une méthode particulière d'approximation qui ramène le tout à des quadratures.

Le poids des marteaux-pilons, construits jusqu'ici par MM. Guillemin et Minary, varie entre 150 et 900 kilogrammes. Nous prendrons pour exemple celui

de 150 kilogrammes envoyé à l'exposition universelle, et qui est représenté à l'échelle de $0^m.04$ pour un mètre dans la planche jointe à notre travail.

Le diamètre de Ω étant $0^m,07$ et celui de S, $0^m,29$, on a

$$\Omega = 0{,}0038, \quad S = 0{,}0314.$$

De plus,

$$P = 150 \text{ kil.}, \quad a = 0{,}10, \quad \pi = 10.330 \text{ kil.}, \quad c = 0{,}04,$$
$$qb = \pi c = 413{,}20, \quad h = 2{,}90, \quad \delta = 0{,}92.$$

Enfin, à la suite de quelques calculs que nous ne reproduirons pas ici, nous avons trouvé

$$\frac{K'}{2g} = 0{,}343, \quad \frac{K}{2g} = 0{,}128.$$

Le marteau produira son plus grand effet lorsque, arrivé au bas de sa chute, la tension du rabat d'air sera π; ou autrement, lorsque $a' = a + l = 0{,}60$, ce que nous supposerons dans ce qui va suivre, on a ainsi

$$q = 46^{atm}.1325 \quad \text{et} \quad b = 0^m,0009.$$

Le mouvement de la colonne d'huile est évidemment plus rapide que si le marteau, arrivé au sommet de sa course, restait fixe dans cette position; car la pression p est plus considérable dans le premier cas que dans le deuxième, puisque le marteau, dans sa chute, tend à comprimer le matelas d'air supérieur à la colonne liquide. Admettons pour le moment cette hypothèse et voyons à quels résultats elle conduit.

Ici on a $vdt = dy$ et l'équation (3) se réduit à la suivante :

$$\frac{dv^2}{dy} + \frac{2K}{K'} v^2 - \frac{4g}{K'}\left(h - a + \frac{qb}{\delta y}\right) = 0,$$

qui a pour intégrale

$$v^2 = e^{\frac{-2K}{K'}y}\left[\frac{2g}{K}(h-a)\left(e^{\frac{2K}{K'}y} - e^{\frac{2K}{K'}b}\right) + \frac{4g}{K'}\frac{qb}{\delta}\int_0^y \frac{e^{\frac{2K}{K'}y}}{y}\,dy\right],$$

en se rappelant que $v = o$ pour $y = b$.

Or $\frac{2K}{K'} = 0{,}749$, la plus grande valeur de y est $l + c = 0{,}54$, et par suite $\frac{2Ky}{K'} \leq 0{,}403$. Nous pourrons donc, avec une approximation très-satisfaisante, développer les exponentielles en nous arrêtant aux termes du troisième ordre de la série; on arrive ainsi, en négligeant de plus le terme $(h-a)(y^2-b^2)$ relativement très-petit, à

$$v^2 = \frac{4g}{K}\left(1 - \frac{2K}{K'}y + \frac{2K^2}{K'^2}y^2\right)\left\{(h-a)(y-b) + \right.$$
$$\left. + \frac{qb}{\delta}\left[\log\frac{y}{b} + \frac{2K}{K'}(y-b) + \frac{2K^2}{K'^2}(y-b)^2\right]\right\},$$

d'où, en remarquant que $v = \frac{dy}{dt}$ et appelant 0 la durée totale de la chute de l'huile,

$$0 = \int_b^{l+c} \frac{dy}{\sqrt{\frac{4g}{K'}\left(1 - \frac{2K}{K'}y + \frac{2K^2}{K'^2}y^2\right)\left\{(h-a)(y-b) + \frac{qb}{\delta}\left[\log\frac{y}{b} + \frac{2K}{K'}(y-b) + \frac{2K^2}{K'^2}(y-b)^2\right]\right\}}}.$$

La fonction placée sous le signe $\int$ et que nous appellerons u pour abréger, devenant infinie pour $y = b$, il faut, avant de pouvoir appliquer ici les méthodes connues de quadrature par approximation, calculer par développement en série la valeur de l'intégrale ci-dessus entre $y = b$ et une autre limite assez peu différente de b pour que, par exemple, l'on puisse négliger le carré de la différence entre ces deux limites.

Posant donc $y = b + \varepsilon$, il vient approximativement, eu égard à la petitesse de b et ε, et à la valeur relativement très-considérable du coefficient $\frac{qb}{\delta}$;

$$t=\frac{1}{\sqrt{\frac{4g}{K'}\frac{qb}{\delta}}}\int_0^{\varepsilon}\frac{d\varepsilon}{\sqrt{\left(\frac{1}{b}+\frac{2K}{K'}\right)\varepsilon}}=\frac{\sqrt{b\varepsilon}}{\sqrt{\frac{g}{K'}\frac{qb}{\delta}}}.$$

On reconnaît facilement que cette formule sera applicable en prenant $\frac{\varepsilon}{b}=\frac{1}{9}$, ou $\varepsilon=0{,}0001$, ce qui donne pour la valeur numérique de l'intégrale ci-dessus, $t=0{,}000012$, et pour la valeur correspondante de u, $u_0=0{,}06$.

Pour avoir la valeur de l'intégrale (9) de $y=b+\frac{1}{9}b=0{,}001$ à $y=l+c=0{,}54$, nous avons employé la méthode de quadrature par approximation de M. Poncelet, qui est de beaucoup, sous tous les rapports, préférable aux autres; c'est ainsi que nous avons été conduits au chiffre

$$\theta=0^{\circ},005, \tag{10}$$

qui représente la durée de la chute de la colonne liquide avec une très-grande approximation (*).

Le mouvement de l'huile est donc extrêmement rapide puisque la valeur ci-dessus de θ, malgré sa petitesse, est encore supérieure à ce qui a lieu dans la réalité. On reconnaît en effet que, lorsque le marteau est sur le point de tomber, l'huile se précipite dans la partie inférieure du cylindre de la pompe avec une vitesse que l'on ne peut comparer qu'à celle d'un projectile sortant d'une arme à feu.

Quant au marteau, il est clair qu'il tombe moins rapidement que s'il commençait à se mettre en mouvement lorsque l'huile est arrivée au bas de sa chute. Examinons maintenant cette nouvelle hypothèse qui revient à supposer $y=l+c-x$ dans les formules (1) et (2). On obtient de cette manière

$$\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2=\pi\left[Sa'\log\left(1+\frac{x}{a}\right)-(S-\Omega)x\right]+Px+\Omega qb\log\left(1-\frac{x}{c+l}\right), \tag{11}$$

d'où

$$t=\sqrt{\frac{1}{2}\frac{P}{g}}\int_0^{x}\frac{dx}{\sqrt{\pi\left[Sa'\log\left(1+\frac{x}{a}\right)-(S-\Omega)x\right]+Px+\Omega qb\log\left(1-\frac{x}{c+l}\right)}}.$$

Si la limite supérieure de cette intégrale est une fraction de a assez petite pour que l'on puisse négliger le carré de $\frac{x}{a}$ et par suite celui de $\frac{x}{c+l}$ on a approximativement

$$t=2\sqrt{\frac{\frac{1}{2}\frac{P}{g}}{\pi\left[\frac{Sa'}{a}-(S-\Omega)\right]+P-\frac{\Omega qb}{c+l}}}\cdot x^{\frac{1}{2}}$$

et faisant les substitutions numériques

$$t=0{,}013\sqrt{x}, \tag{12}$$

soit par exemple $x=\frac{a}{10}=0^{m},01$, il vient $t=0{,}013$, chiffre plus que double de θ.

Supposons maintenant que dans les deux hypothèses admises relativement au marteau et à l'huile, ces deux mobiles entrent en mouvement au même instant et indépendamment l'un de l'autre et que l'on veuille connaître l'espace que parcourra le marteau pendant que l'huile accomplira sa descente; d'après l'exemple numérique précédent, la valeur cherchée x' de x est suf-

(*) Cette durée donne pour la vitesse moyenne de l'huile

$$v=\frac{0^{m},540}{0{,}005}=108 \text{ mètres.}$$

fisamment petite pour que la formule (12) soit applicable; et nous aurons

$$0{,}12\sqrt{x'} = 0{,}005,$$

d'où

$$x' = 0{,}0015.$$

Or cette valeur de x' est supérieure à celle qui correspond à la réalité, ou le marteau marche moins vite et l'huile plus rapidement que dans les deux hypothèses que nous avons faites; nous obtiendrons donc une limite supérieure du travail de la contrepression dans le tube à huile pendant la chute du liquide, en multipliant $x'\,\Omega$ par le demi-somme (*) des valeurs extrêmes de cette pression, limite que l'on trouve égale à $1^{k},38$, et que nous prendrons pour valeur approchée du même travail; de cette manière nous serons sûrs de ne pas arriver à une évaluation exagérée de la puissance du marteau.

Pour calculer maintenant la demi-force vive du marteau au bas de sa chute, nous reprendrons la formule (11), au second membre de laquelle nous retrancherons $1^{km},38$ et où nous supposerons $a' = a + l$, $x = l - x'$, ou tout simplement $x = l$, vu la petitesse de x', c'est-à-dire la suivante :

$$(13)\qquad \frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 = \pi\left[Sa'\log\left(1+\frac{l}{a}\right) - (S-\Omega)\,l\right] + Pl + \Omega qb\log\left(1-\frac{l}{c+l}\right) - 1^{km},38,$$

et en faisant les substitutions numériques

$$\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 = 275,^{km}34 = 3^{ch.},66,$$

(*) On peut prendre la moyenne de la pression variable avec x pour l'intervalle x', en raison même de la petitesse de cet intervalle.

travail équivalent à plus de trois fois et demi celui qui serait dû uniquement au poids du marteau. La vitesse du marteau au bas de sa chute est de 6 mètres, et la pression maximum du rabat d'air, $1\,\text{atm.} \times \frac{a+l}{a}$ = 6 atmosphères.

Avant d'aller plus loin, nous ferons remarquer que si $275^{km},34$ représente une limite inférieure de la puissance du marteau, $275^{km},34 + 1^{km},38 = 276^{km},72$ en est une limite supérieure, puisque cela revient à supposer que l'huile est au bas de sa chute quand le marteau se met en mouvement. La demi-somme de ces deux limites représente encore si l'on veut une valeur approchée de $\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2$, à moins de $0^{km},69$ ou de $\frac{3}{1000}$ de la valeur approchée; mais il est mieux de s'en tenir à une évaluation plutôt un peu trop faible que trop forte, comme on devrait toujours faire dans le calcul de l'effet dynamique des machines; c'est-à-dire au chiffre de $275^{km},34$ trouvé en premier lieu.

Supposons que l'on veuille déterminer dans la demi-oscillation ascendante du marteau le point à partir duquel il faut ouvrir la soupape s pour qu'en retombant le marteau s'arrête aux $\frac{3}{4}$ de sa chute; il faudra faire $x = 0{,}375$ dans la formule suivante déduite de (11) et (13),

$$a' = \frac{1{,}38 - \Omega qb\log\left(1-\frac{x}{c+x}\right) + [\pi(S-\Omega) - P]x}{\pi S\log\left(1+\frac{x}{a}\right)}$$

et l'on aura $a' = 0{,}11$; il faudra donc ouvrir la soupape lorsque le marteau aura encore à parcourir $0^{m},01$ dans sa marche ascendante.

La formule (1) comprend comme cas particulier, en y faisant $p = \pi$, celle qui se rapporte aux marteaux à rabat d'air ordinaires employés principalement dans certaines tanneries; elle devient alors

$$\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 = \pi\left[Sa'\log\left(1+\frac{x}{a}\right) - Sx\right] + Px.$$

En introduisant dans cette nouvelle formule les données numériques ci-dessus, on trouve pour l'effet dynamique maximum du marteau

$$\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 = 261^{km},21 = 3^{ch.},48,$$

et pour la vitesse au bas de la chute $V = 5^m,85$; le marteau est donc moins puissant dans ce cas que dans le premier. La valeur de a' pour laquelle V s'annule en un point déterminé de la chute sera donnée par

$$a' = \frac{(S\pi - P)x}{S\pi\log\left(1+\frac{x}{a}\right)}.$$

Pour $x = 0^m,375$, on trouve $a' = 0^m,14$.

Voyons maintenant à quels résultats on arriverait si la colonne d'huile n'était pas surmontée d'une petite masse d'air; dans ce cas on a $v = V$, et la formule (5) devient

$$\frac{KV^2}{2g} + \frac{K'}{4g}\frac{dV^2}{dx} = h - a + \frac{p}{\delta};$$

en éliminant p entre (1) et cette équation, on obtient :

$$V^2 + \alpha\int_0^x V^2 dx - \beta\log\left(1+\frac{x}{a}\right) + \gamma x = 0,$$

en posant pour abréger

$$\alpha = \frac{\frac{\Omega K\delta}{2g}}{\frac{1}{2}\frac{P}{g} + \frac{\Omega K'\delta}{4g}}, \qquad \beta = \frac{\pi Sa'}{\frac{1}{2}\frac{P}{g} + \frac{\Omega K'\delta}{4g}},$$

$$\gamma = \frac{(S-\Omega)\pi - P - (h-a)\Omega\delta}{\frac{1}{2}\frac{P}{g} + \frac{\Omega K'\delta}{4g}}.$$

Une différentiation donne

$$\frac{dV^2}{dx} + \alpha V^2 - \frac{\frac{\beta}{a}}{1+\frac{x}{a}} + \gamma = 0,$$

équation dont l'intégrale entre les limites $x = 0$ et x est

$$V^2 = e^{-\alpha x}\left[-\frac{\gamma}{\alpha}(e^{-\alpha x} - 1) + \frac{\beta}{a}\int_0^x \frac{e^{\alpha x}\,dx}{1+\frac{x}{a}}\right]$$

et la demi-force vive du marteau

$$\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 = \frac{1}{2}\frac{P}{g}e^{-\alpha x}\left[-\frac{\gamma}{\alpha}(e^{\alpha x} - 1) + \frac{\beta}{a}\int_0^x \frac{e^{\alpha x}\,dx}{1+\frac{x}{a}}\right]$$

s'obtient par une quadrature.

Si l'on cherche à appliquer cette dernière formule à l'exemple numérique que nous avons choisi, on reconnaît que les termes en δ sont négligeables par rapport aux autres, ce qui revient à supposer $p = 0$ dans la formule (1) qui devient alors

$$\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 = \pi\left\{Sa'\log\left(1+\frac{x}{a}\right) - x[\pi(x-\Omega) - P]\right\}$$

et donne pour la demi-force vive du marteau au bas de sa chute

$$\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 = 280^{km},80 = 3^{ch.},76,$$

chiffre un peu supérieur à ceux que nous avons obtenus dans les deux cas traités plus haut, en raison de ce que la contre-pression dans le tube à huile est ici très-petite et négligeable.

La quantité d'huile nécessaire pour remplir l'appareil est de 15 litres environ; le volume d'huile déplacé à chaque oscillation du marteau est de 1 litre 5 décilitres; la dépense en huile est à fort peu de chose et ne dépasse pas 1 litre par mois, lors même que le marteau fonctionne continuellement; les frottements, en raison de la nature du liquide employé comme intermédiaire, sont insensibles, et les variations brusques de section dans la conduite de l'huile et dans la pompe sont réduites à leur plus simple expression. Ce marteau peut donner 120 coups par minute et peut servir, entre autres choses, en y mettant une panne convenable, à étirer des barres de $0^m,10$ de côté, à percer des tôles pour chaudières à vapeur et, en général, à élaborer la plupart des pièces de construction : sa valeur est de 4.000 fr.

MM. Guillemin et Minary possèdent, depuis plusieurs années, dans leur atelier de construction de Casamène, deux de ces marteaux-pilons, l'un indentique au précédent, l'autre beaucoup plus fort et pesant 900 kilogrammes : ils sont d'un usage journalier et n'ont pas eu besoin jusqu'ici de réparations importantes. Nous avons pu nous convaincre combien le martelage est rendu facile par les dispositions que nous avons décrites et combien ce marteau est supérieur aux appareils de même nature connus jusqu'ici.

MÉMOIRE

SUR LES MINES D'ANTHRACITE DU BASSIN DU DRAC (ISÈRE).

Par M. E. ROGER, ingénieur des mines.

Objet du mémoire.

Les mines d'anthracite du bassin du Drac se présentent dans des circonstances de gisement très-intéressantes au point de vue géologique. Industriellement leur importance est déjà considérable et tend à s'accroître chaque jour davantage. L'achèvement des chemins de fer qui se rattachent à la ligne de Lyon à la Méditerranée, en les rapprochant des grands centres de consommation, conduira sans aucun doute à donner, dans un avenir prochain, le plus large développement possible aux travaux d'exploitation. Il est donc naturel de se demander, dès aujourd'hui, quelles sont les ressources ultérieures de ces mines. A cet effet, il faut d'abord étudier l'état actuel des exploitations, ainsi que l'ensemble des travaux de recherche et d'aménagement aujourd'hui en cours d'exécution; puis examiner quels travaux d'avenir peuvent être entrepris et quelles sont les améliorations qui restent à réaliser soit dans les méthodes d'exploitation, soit dans les moyens de transport. C'est le résumé des études que j'ai été à même de faire sur ces divers objets que je me propose de présenter ici (1). Je commencerai par quelques considérations succinctes sur la constitution géologique du bassin.

(1) Ces études m'ont été beaucoup facilitées par l'obligeant concours qu'a bien voulu me prêter M. Rolland, ancien élève de l'École de Saint-Étienne, directeur des mines de la Grande Draye et de Peychagnard. Je me fais un devoir de l'en remercier ici.

PREMIÈRE PARTIE.

DESCRIPTION DU TERRAIN ANTHRACIFÈRE DU DRAC.

Limites du bassin du Drac.

Le terrain anthracifère du Drac se compose de plusieurs lambeaux distincts, qu'on peut comprendre dans un rectangle dont ce torrent formerait l'un des côtés, sur une longueur totale de 16 kilomètres environ, et dans une direction voisine du nord-sud; une ligne menée de l'est à l'ouest, à partir de la Mure, et ayant environ 8 kilomètres de longueur, fermerait, du côté du sud, le rectangle, qui par là se trouverait entièrement déterminé, et aurait une aire totale de 128 kilomètres carrés.

Terrain anthracifère.

Le terrain anthracifère proprement dit n'occupe environ, en affleurements, que la sixième partie du rectangle qui vient d'être défini, soit 21 kilomètres carrés; il est constitué dans sa totalité par des dépôts arénacés, grès et schistes argileux, subordonnés aux couches de combustible. Le reste du rectangle appartient à deux autres formations, l'une plus ancienne, l'autre plus moderne.

Terrain talqueux.

La formation ancienne apparaît sur une étendue totale d'environ 12 kilomètres carrés, et se compose exclusivement de schistes talqueux; ces schistes talqueux se relient évidemment à la grande chaîne primitive qui s'étend du mont Pelvoux au mont Blanc.

Terrain calcaire.

La formation moderne, abstraction faite de quelques dépôts de peu d'importance, les uns tertiaires, les autres d'alluvions tout à fait récentes, se compose d'une série d'assises d'un calcaire plus ou moins schisteux, plus ou moins argileux; l'épaisseur totale de cette formation est très-considérable; les assises inférieures se rapportent évidemment, par les fossiles qu'on y rencontre, à l'étage du lias; à la base, et au contact avec les grès anthracifères, se trouvent ordinairement des grès qui se distinguent de ces derniers par leur aspect et leurs caractères physiques, et ne renferment aucun indice d'anthracite; pour cette raison, on les a nommés grès du lias; ces grès n'offrent jamais qu'une faible épaisseur, 25 à 30 mètres au plus.

Au-dessus des assises liassiques s'étendent les couches calcaires et marneuses de la formation oolitique, formation à peine représentée dans la région que nous avons à étudier, mais qui prend, du côté de l'ouest, un immense développement.

Les trois terrains que nous venons de décrire sommairement, terrain talqueux ancien, terrain anthracifère, terrain moderne (liassique), doivent être distingués avec soin pour qu'on puisse nettement se rendre compte des circonstances de gisement et d'exploitation des mines du bassin du Drac. Dans ce bassin, ces trois terrains sont constamment superposés l'un à l'autre dans l'ordre même où nous les avons nommés tout à l'heure. Mais nous n'entendons pas par là qu'on doive les séparer géologiquement. Nous devons dire, au contraire, sans entrer toutefois dans l'examen des faits qui se rattachent à la question de l'âge géologique de ces terrains, si importants à étudier par la place qu'ils occupent dans la chaîne des Alpes occidentales, qu'ils nous paraissent être contemporains, en ce sens du moins qu'aucune grande révolution n'aurait marqué le passage de l'un à l'autre. En d'autres termes, nous croyons qu'on doit rapporter le terrain anthracifère des Alpes tout entier à l'époque liassique, malgré la présence bien constatée de végétaux fossiles identiques à ceux que l'on rencontre dans les formations houillères. Quant au terrain talqueux, il ne serait lui-même que

le résultat d'altérations *métamorphiques* plus ou moins profondes subies par des terrains sédimentaires qui, dans l'origine, auraient également appartenu au lias, du moins dans leurs assises les plus élevées (1).

Nombre et situation des concessions.

C'est vers le centre du rectangle défini plus haut que se trouve le lambeau anthracifère principal, le seul que nous étudierons d'une manière détaillée; ce lambeau comprend neuf concessions, dont la plus importante est celle de la Grande Draye, qui fournit annuellement plus de la moitié de la quantité totale du combustible exploitée dans le bassin; deux autres concessions, absolument inexploitées depuis plus de vingt ans, et dont les ressources sont peu connues, s'étendent vers le sud; enfin, il existe du côté du nord, en dehors des limites de la carte géologique jointe à ce mémoire, deux autres concessions très-peu productives. En tout treize concessions, s'étendant en partie sur le sol calcaire et sur le sol talqueux, et comprenant 42 kilomètres carrés, 84 hectares.

Énumération des couches d'anthracite.

Toutes les couches exploitées dans le bassin paraissent se réduire en définitive à cinq couches distinctes et sensiblement parallèles, savoir, en commençant par la couche la plus moderne :

1° Une petite couche d'environ 50 à 60 centimètres de puissance, qui n'est connue que sur un très-petit nombre de points; elle n'est séparée de la couche n° 2 que par un intervalle de 8 à 10 mètres; quelquefois même elle paraît s'y réunir.

2° La seconde couche est la couche principale du bassin (Grande Couche); sa puissance est en moyenne de 6 à 7 mètres et s'élève quelquefois à 12 ou 15 mètres; elle est exploitée sous divers noms, dans les concessions du Peychagnard, de la Grande Draye et de Combéramis.

3° La couche n° 3, ou couche Henriette, a 1 mètre environ de puissance moyenne; elle est à une distance de 50 mètres environ de la précédente.

4° La couche n° 4, ou couche du Bois de Bataille, est habituellement séparée en trois veines par des bancs de grès intercalés; son épaisseur moyenne est en tout de 2 mètres environ, et de $1^{m},50$ en ne tenant compte que du charbon. La distance qui sépare les couches Henriette et du Bois de Bataille varie de 25 à 40 mètres.

5° La cinquième couche est distante ordinairement de 20 à 25 mètres de la précédente; son épaisseur est d'environ 60 centimètres : elle est habituellement considérée comme inexploitable.

Au delà de ce système de couches on ne rencontre que des grès extrêmement durs, dont l'épaisseur totale, avant d'arriver aux schistes talqueux, s'élève la plupart du temps à 150 mètres environ.

Allure des couches

La direction de toutes ces couches est presque constamment comprise entre le nord-sud et le nord 16 à 17° est; la direction moyenne coïncide sensiblement avec la direction du système du Vercors, nord 8° est (1), direction que, pour abréger, nous nommerons à l'a-

(1) On peut consulter sur ce sujet deux mémoires de M. Élie de Beaumont, insérés dans les *Annales des sciences naturelles*, juin et décembre 1828, la statistique de l'Isère de M. Gueymard, 1844; et enfin un mémoire de M. Gras sur le terrain anthracifère des Alpes (*Annales des mines*, 1854).

(1) Le système du Vercors a été nettement caractérisé par M. Gras (*Statistique minéralogique du département de la Drôme*, page 27) : « Ce système se montre fréquemment, dit M. Gras, dans le département de l'Isère; c'est lui qui a donné naissance à la chaîne de montagnes situées entre la vallée de Lans et celle du Drac, et qui a incliné les couches d'anthracite d'Huez et du Mont-de-Lans. » La vallée de l'Eau-d'Olle, à partir d'Allemont jusqu'au col des Sept-Laus, le col des Sept-Laus, et

venir simplement nord-sud (1). Le pendage des couches est tantôt vers l'ouest (O. 8° N.), tantôt vers l'est (E. 8° S.). Mais le pendage ouest est de beaucoup le plus développé ; c'est dans ce sens que les *nappes* des couches sont le plus étendues. L'inclinaison la plus habituelle des couches est de 35 à 45° à l'horizon ; quelquefois elles sont tout à fait verticales ; elles ne sont horizontales que dans le passage, ordinairement très-brusque, d'un pendage au pendage inverse dans les plis successifs. Ajoutons que les axes des plis sont presque constamment inclinés vers le nord d'environ 6°. Beaucoup plus rarement ces axes ou lignes de flexion inclinent au sud. Dans les points où les deux inclinaisons opposées se rencontrent, ou pour mieux dire se succèdent, les couches, infléchies alors dans tous les sens, affectent la forme de *fonds de bateau* ayant leur convexité tournée soit vers le haut, soit vers le bas.

Tels sont les caractères généraux de l'allure des couches du bassin du Drac, abstraction faite des accidents et des déformations accessoires.

DEUXIÈME PARTIE.

PRODUCTION ANNUELLE DES MINES.— DESCRIPTION DES TRAVAUX.

Renseignements statistiques.

Nous avons réuni dans le tableau ci-après les principaux renseignements statistiques qu'il peut être utile de connaître, concernant les diverses concessions du bassin du Drac.

---

les gorges du Bréda, depuis la Ferrière, jusqu'à Allevard forment également une série de dépressions longitudinales orientées N. 8 à 10° E. et présentant ensemble un alignement continu d'environ 35 kilomètres.

(1) Toutes les fois qu'il s'agira du Nord *vrai*, du Sud, de l'Est ou de l'Ouest *vrais*, nous aurons soin de dire expressément.

NUMÉROS D'ORDRE des concessions (du Nord au Sud). (1)	NOMS des CONCESSIONS. (2)	ÉTENDUE des concessions. (3)	COMMUNES sur lesquelles s'étendent les concessions. (4)	DATES des actes de concession. (5)	PRODUCTION TOTALE depuis 1814 inclusivement jusqu'à 1854 exclusivement. (6)	PRODUCTION EN 1854. (7)
		hect.			qx. m.	qx. m.
1	Saint-Barthélemy. . . .	539	Saint-Barthélemy. . .	31 janvier 1817.	280	200
2	Laffrey.	296	Laffrey.	29 septembre 1843.	3.450	»
3	Combéramis.	403	Notre-Dame de Vaulx.	11 brum. an XIV.	2.268.887	132.826
4	La Grande Draye. . . .	276	La Motte d'Aveilan. .	4 juillet 1806.	4.080.854	287.926
5	Pierre-Châtel	200	Pierre-Châtel	1er septemb. 1827.	»	»
6	Puteville.	216	Pierre-Châtel	5 juillet 1805.	301.377	23.060
7	Le Châtelard	109	La Motte Saint-Martin.	16 novembre 1834.	»	»
8	Les Bétoux.	820	La Motte Saint-Martin.	11 novembre 1806.	39.681	»
9	Les Boines.	77	La Motte d'Aveilan. . La Motte Saint-Martin.	9 avril 1834.	60.854	»
10	Serre-Leycon	206	La Motte d'Aveilan . . La Motte Saint-Martin.	9 août 1834.	230.894	17.477
11	Le Peychagnard	287	Susville.	27 novembre 1816.	1.342.662	71.679
12	Les Chuzins.	281	Susville.	8 août 1835.	»	»
13	Prunières	374	Prunières	28 août 1835.	5.607	»
	TOTAUX.	4 284			8.334.546	533.268

Il résulte de ce tableau que la production actuelle du bassin (533.268 quintaux) est bien supérieure à la production moyenne considérée dans toute la période 1814-1854 ; cette production moyenne ne s'élève en effet qu'à $\frac{8.334.546}{40}$ ou 208.364 quintaux. Il est assez intéressant du reste de se rendre compte de la marche suivie par les progrès de la production dans cette période ; c'est à quoi répond le tableau ci-après, dressé d'après des documents administratifs qui, s'ils ne sont pas d'une exactitude absolue, peuvent au moins être considérés comme suffisamment approchés.

ANNÉES.	Saint-Barthélemy.	Lamey.	Combéramis.	La Grande Draye.	Pierre-Châtel.	Puteville.	Le Chatelard.	Les Béloux.	Les Bolnes.	Serre-Leycon.	Le Peychagnard.	Les Chuzins.	Prunières.	TOTAUX.	MOYENNES prises de 10 ans en 10 ans.
1814	»	»	14.515	30.000	»	7.581	»	711	»	»	16.531	»	»	69.338	
1815	»	»	14.400	29.633	»	5.080	»	120	»	»	18.901	»	»	68.134	
1816	»	»	14.400	24.919	»	6.150	»	333	»	»	11.734	»	»	57.536	
1817	»	»	14.400	22.870	»	5.512	»	133	»	»	12.775	»	»	55.690	
1818	»	»	14.400	22.058	»	5.985	»	133	»	»	14.464	»	»	57.040	
1819	»	»	18.488	23.232	»	7.171	»	133	»	»	11.533	»	»	60.557	58.333
1820	»	»	18.541	21.126	»	6.114	»	133	»	»	8.575	»	»	54.489	
1821	»	»	18.728	19.864	»	5.736	»	520	»	»	7.784	»	»	52.332	
1822	»	»	20.768	18.490	»	4 938	»	321	»	»	7.989	»	»	52.506	
1823	»	»	22.032	19.408	»	5.347	»	288	»	»	8.533	»	»	55.608	
1824	»	»	21.074	22.876	»	4.878	»	1.420	»	»	11.097	»	»	61.345	
1825	»	»	30 138	21.731	»	5.250	»	1.639	»	»	10.335	»	»	69.093	
1826	»	»	26.000	33.057	»	7.865	»	1.963	»	»	14.144	»	»	83.029	
1827	»	»	26.000	42.994	»	8.039	»	2.132	»	»	15.052	»	»	94.217	
1828	»	»	32.254	44.492	»	10.387	»	2.411	»	»	15.943	»	»	105.487	
1829	»	»	30.080	46.544	»	9.838	»	2.050	»	»	17.518	»	»	106.930	104.442
1830	»	»	31.420	49.823	»	9.275	»	1.768	»	»	13.958	»	»	106.244	
1831	»	»	32.437	48.463	»	7.170	»	2.475	»	»	16.349	»	»	106.894	
1832	»	»	75.672	50.625	»	7.260	»	3.033	»	»	20.214	»	»	156.804	
1833	»	»	52.084	67.141	»	7.702	»	2.480	»	»	25.974	»	»	155.381	
1834	»	»	34.310	79.250	»	7.400	»	2.843	774	600	25.974	»	»	151.151	
1835	»	»	38.355	86.980	»	8.000	»	2.478	»	800	31.172	»	337	168.122	
1836	»	»	36.967	111.517	»	5.850	»	2.864	6.240	4.500	41.320	»	450	209.708	
1837	»	»	42.000	115.460	»	6.500	»	3.800	5.600	11.000	42.600	»	500	227.460	
1838	»	»	40.000	119.500	»	8.500	»	2.600	6.000	12.000	40.350	»	400	229.350	238.130
1839	»	»	34.500	147.400	»	8.540	»	»	5.600	12.800	37.200	»	»	246.040	
1840	»	»	47.180	135.025	»	9.200	»	»	6.000	14.000	42.800	»	1.200	255.405	
1841	»	»	64.862	143.769	»	9.240	»	»	3.200	8.500	45 840	»	850	276.261	
1842	»	»	66.743	151.275	»	8.898	»	»	2.950	9.400	54.318	»	920	294.504	
1843	»	»	66.050	164.900	»	12.455	»	»	1.200	19.700	57.052	»	950	323.307	
1844	»	»	67.850	166.500	»	9.552	»	»	18.220	19.800	59.571	»	»	341.493	
1845	»	»	102.060	197.000	»	6.800	»	»	2.370	18.400	76.500	»	»	403.130	
1846	»	»	113.950	198.600	»	3.950	»	»	1.500	13.200	63.750	»	»	394.950	
1847	»	»	140.320	204.500	»	2.190	»	»	1.200	11.400	65.200	»	»	424.810	
1848	»	»	141.241	193.122	»	800	»	»	»	10.822	57.750	»	»	403.735	432.553
1849	»	450	128.071	191.077	»	2.255	»	»	»	11.870	42.144	»	»	375.567	
1850	»	3.000	145.910	213.680	»	4.950	»	»	»	11.122	55.487	»	»	434.149	
1851	»	»	147.238	284.394	»	11.312	»	»	»	10.430	71.411	»	»	494.785	
1852	55	»	147.379	278.232	»	15.168	»	»	»	15.350	81.763	»	»	535.947	
1853	225	»	136.070	269.627	»	22.539	»	»	»	15.600	71.057	»	»	515.018	
Totaux	280	3.450	2.268.837	4.080.854	»	301.377	»	39.681	60.854	230.894	1.342.662	»	5.607	8.334.546	

Parmi les conséquences qu'on peut déduire du tableau précédent, nous signalerons celles-ci :

1° La production totale annuelle depuis 1814, c'est-à-dire depuis l'époque où l'on possède des renseignements authentiques, jusqu'à nos jours, croît très-rapidement, et a même jusqu'ici doublé de dix en dix ans. Il est toutefois à peu près hors de doute qu'une telle proportion ne se maintiendra pas dans l'avenir. Nous admettrons dans nos calculs ultérieurs que la production totale est destinée à se régler, dans un avenir plus ou moins éloigné, à un chiffre annuel de 1 million de quintaux, soit 100.000 tonnes.

2° Parmi les treize concessions du bassin, trois concessions seulement, la Grande Draye, Combéramis, le Peychagnard, ont donné jusqu'ici des produits considérables; ces trois mines ont fourni, de 1814 à 1854 exclusivement, 7.692.403 quintaux métriques, c'est-à-dire un peu plus des 7/8 de la production totale du bassin. Ces trois concessions sont aussi les seules où les travaux, soit d'exploitation, soit de recherche, méritent par leur importance d'être décrits ici.

Travaux de la concession de la Grande Draye.

Les galeries principales qui existent actuellement dans la concession de la Grande Draye déterminent neuf étages distincts. Les longueurs de ces galeries et leurs altitudes à l'ouverture, à partir de la plus basse, sont comme ci-après :

		Altitudes.	Diff.	Longueur des galeries.
Travaux des Crêts.	1er niveau	198.00		140
			25.00	
	2e niveau	173.00		480
			25.00	
	3e niveau	148.00		170
			25,00	
	4e niveau	123,00		260
			25,00	
	5e niveau	98,00		256
			23,00	
	6e niveau	75,00		185
			23,00	
Trav. infér.	7e niveau ou bastille	52,00		656
			28,40	
	8e niveau ou trois embranchements	23.60		700
			23,60	
	9e niveau ou Rivoire	0.00		920

Les galeries principales des six premiers étages, nommés étages des Crêts, sont dirigées de l'ouest à l'est, c'est-à-dire normalement à la direction moyenne des couches; les trois autres s'avancent au contraire du sud au nord, en suivant tel ou tel repli de la Grande Couche. Toutes ces galeries sont d'ailleurs pourvues de chemins de fer, ainsi qu'un certain nombre de galeries d'allongement et de traverses. Le développement total des voies ferrées, dans la concession, est de 5.271 mèt.

Étages nos 1, 2 et 3.

Les galeries principales des étages, n° 1, n° 2 et n° 3 n'ont rencontré que la couche du Bois de Bataille (n° 4), en ce moment en exploitation à ces trois étages, et la petite couche (n° 5) que l'on n'a exploitée jusqu'ici qu'à l'étage n° 1; à ces trois niveaux, la Grande Couche et la couche Henriette n'existent pas; elles ont été détruites par les dénudations du sol; il est seulement resté à l'étage n° 1, et comme une espèce de *témoin*, un lambeau de la couche Henriette d'une très-faible étendue; la grande couche n'existe, du reste, qu'aux niveaux 7, 8 et 9.

On peut évaluer comme il suit le développement des voies d'allongement pratiquées, à chacun de ces trois étages, sur la couche du Bois de Bataille, au niveau de l'entrée des voies principales :

Étage n° 1	160 mètres.
— n° 2	250
— n° 3	150

soit en tout 560 mètres. Ces galeries d'allongement, comme toutes les galeries d'allongement de la concession, ont pour limites, au nord la concession de Combéramis, au midi les affleurements mêmes des couches. On peut considérer à ces trois niveaux, les galeries d'allongement comme terminées, à 100 ou 150 mètres près. Les dépilages sont également très-avancés.

Étage n° 4.

La galerie n° 4 a rencontré : 1° la couche Henriette, à 30 mètres du jour; 2° la couche du Bois de Bataille, à 80 mètres plus loin; puis la petite couche, inexploitable quant à présent à ce niveau. Cette galerie se poursuit encore afin d'explorer le bassin dans le sens de sa profondeur; selon toutes les probabilités, on doit atteindre, à 290 mètres du jour environ, le repli en forme de fond de bateau que l'on connaît déjà par la galerie n° 3. Le développement total des voies d'allongement au niveau de l'entrée n° 4 est de 720 mètres, dont 320 mètres dans la couche Henriette et 400 mètres dans la couche du Bois de Bataille. Il reste environ 200 mètres à faire, sans tenir compte du repli, d'ailleurs peu important, vers lequel marche la galerie à travers bancs. Il n'y a pas de dépilages à cet étage non plus qu'aux étages suivants, 5 et 6; à ces trois étages, les massifs aménagés sont presque intacts; ils ne seront enlevés qu'après l'épuisement à peu près complet des étages 1, 2 et 3.

Étage n° 5.

La galerie n° 5 est ouverte à 300 mètres environ au sud des quatre précédentes qui sont toutes, à 50 mètres près, dans le plan méridien. Si l'on se rappelle que les axes des replis sont relevés vers le sud de 6° environ (10 centimètres par mètre), on en conclura que cette galerie doit rencontrer les couches dans des *régions analogues* aux régions déjà explorées par les galeries n° 3 et n° 4 (nous nommerons régions analogues ou d'une façon plus précise *points analogues*, les points qui, dans une couche donnée, sont situés sur une même ligne droite parallèle aux axes de plissement de la couche). Et en effet, cette galerie a coupé : 1° un lambeau de la couche Henriette, avec pendage *direct* (O. 8° N.); ce lambeau n'existe qu'à 100 ou 150 mètres au nord de l'entrée de la galerie; plus près de cette entrée, il a été détruit par les dénudations du sol; 2° la couche du Bois de Bataille avec pendage direct. C'est en partant de cette couche, au moyen d'une traverse dirigée de l'est à l'ouest, c'est-à-dire en sens inverse de la galerie principale, que l'on a rejoint le lambeau de la couche Henriette dont il vient d'être question; 3° à 20 mètres de la couche du Bois de Bataille, on a traversé la petite couche (n° 5) avec pendage direct; puis, 140 mètres plus loin, on a encore traversé la même petite couche, avec pendage inverse; 4° enfin, derrière cette petite couche et à 20 mètres de distance, on a recoupé de nouveau la couche du Bois de Bataille avec pendage inverse. On marche maintenant vers une autre région de la même couche, région qu'on est certain d'atteindre prochainement et dans laquelle la couche offrira un pendage direct.

Les galeries d'allongement de cet étage présentent un développement total d'environ 1.500 mètres au niveau de l'entrée; elles sont exclusivement pratiquées

dans la couche Henriette et dans le repli de la couche du Bois de Bataille le plus voisin du jour.

Étage n° 6.

La galerie n° 6 est à 15 ou 20 mètres au sud de la précédente; elle est destinée à atteindre les mêmes replis, mais à un niveau plus bas; déjà elle a recoupé : 1° la couche Henriette à 80 mètres du jour; 2° la couche du Bois de Bataille à 160 mètres du jour; 3° la petite couche n° 5 à 200 mètres du jour; ces trois couches ont offert le même pendage vers l'ouest. Il reste à traverser les deux dernières couches, une première fois avec des pendages inverses, et une seconde fois avec des pendages directs. Peut-être qu'à ce niveau les rencontres auront lieu vers les points les plus bas des inflexions éprouvées par les couches, si même on ne passe pas au-dessous; dans ce dernier cas, on arriverait au charbon au moyen de traverses montantes.

Les galeries d'allongement au niveau de la galerie n° 6 ont environ 550 mètres de développement total.

Étage n° 7.

La galerie principale n° 7 est ouverte sur les affleurements mêmes de la Grande Couche, dans une région où cette couche porte le nom de couche de la Bastille ou de la Grande Draye. La galerie suit la couche horizontalement ou, pour parler plus exactement, avec la pente de 1 centimètre par mètre qu'on a partout donnée, dans cette concession, aux voies munies de chemins de fer, depuis les affleurements jusqu'à la limite nord de la concession. De cette galerie partent deux voies de recherche s'enfonçant l'une et l'autre à travers bancs dans le sein de la montagne, c'est-à-dire du côté de l'est; elles sont prises, l'une à 160 mètres du jour, l'autre à 530 mètres.

La traverse nord, la plus éloignée, a 380 mètres environ de longueur totale; elle a déjà rencontré, après un parcours de 60 mètres, la couche Henriette, avec

un pendage direct; à 75 mètres plus loin, encore la couche Henriette vers le point le plus bas d'une inflexion; à 30 mètres plus loin, la couche du Bois de Bataille, avec un pendage direct, et cette même couche une deuxième fois et avec un pendage inverse à 120 mètres plus loin. On marche maintenant vers la couche Henriette, que l'on espère rencontrer avant d'atteindre la limite de la concession.

La traverse sud a 250 mètres de longueur; elle n'a rencontré encore que la première contre-pente de la couche Henriette après un parcours de 60 mètres; la contre-pente inverse, que recoupe la traverse nord, s'est trouvée échapper à la traverse sud à cause du redressement de l'axe des plis vers le sud; mais on a rejoint le point le plus bas de l'inflexion au moyen d'une traverse dirigée vers le nord, légèrement montante, ayant 55 mètres de longueur. Quant à la couche du Bois de Bataille, la traverse sud la coupe dans un étranglement où son épaisseur est réduite à 20 ou 25 centimètres. Il reste à traverser une deuxième contre-pente du Bois de Bataille avec pendage inverse, contre-pente que l'on atteindra probablement à 290 mètres environ de l'entrée de la voie de recherche. Il peut se faire cependant que cette contre-pente échappe de la même manière qu'avait échappé l'inflexion concave de la couche Henriette; dans ce cas, on la rejoindra par une traverse montant un peu vers le nord.

Les galeries d'allongement de l'étage n° 7 ont 650 mètres environ de développement total, non compris la galerie principale qui a elle-même 620 mètres de longueur; à cet étage, les trois couches n° 2, n° 3 et 4 sont en dépilage; les dépilages de la Grande Couche sont même très-avancés; ils ont produit, à la surface du sol, un affaissement considérable, ayant 2

ou 300 mètres de longueur sur 25 à 30 mètres de largeur, et 30 à 40 mètres de profondeur. Les débris entassés au fond de la cavité suivent, en descendant, les progrès de l'exploitation; on y conserve, dans la couche même, des cheminées servant à l'aérage (1).

Étage n° 8. Les trois embranchements.

A cet étage, comme au précédent, la voie principale est une galerie d'allongement, menée dans la Grande Draye et située exactement dans le même méridien. A cette galerie se rattachent deux traverses au rocher. La traverse nord, la plus éloignée du jour (620 mètres), se dirige à l'est, dans l'intérieur de la montagne; sa longueur actuelle est de 95 mètres. Elle coupe, après un parcours de 60 mètres, la couche Henriette, et à 20 mètres plus loin la couche du Bois de Bataille. La traverse sud, qui part de la galerie principale à 150 mètres du jour, est dirigée, de part et d'autre de cette galerie, en forme de T. A gauche, c'est-à-dire vers l'ouest, on a coupé deux fois la grande couche qui forme, à cet étage, un repli convexe vers l'intérieur, dont la flèche est d'environ 50 mètres et l'ouverture ou la corde d'environ 120 mètres. Ce repli, appelé la Rivoire, est parfaitement connu en tous ses points; sa section horizontale, figurée sur le plan (*fig.* 1) par une galerie d'allongement un peu sinueuse, n'est autre chose qu'une espèce de demi-ellipse ou fer à cheval dont le sommet est vers le nord et dont le grand axe se dirige du nord au sud, comme les couches. Vers le sud, ce repli affleure au jour; il est presque entiè-

(1) Nous n'insistons pas sur le détail des procédés d'exploitation suivis dans le bassin du Drac; on peut consulter, sur ce point, un mémoire de M. H. Giroud (*Annales des mines*, 5e série, t. IX), et une notice de M. H. Franck (*Annales des mines*, 4e série, t. XV).

rement dépilé de ce côté. A droite (est), la traverse sud coupe la couche Henriette à 75 mètres; puis, à 50 mètres plus loin, la couche du Bois de Bataille; à 90 mètres plus loin, cette même couche a été atteinte comme tangentiellement au point le plus bas d'une inflexion. Jusqu'à présent, la petite couche n° 5, encore inexplorée aux étages 7, 8 et 9, a échappé à cette traverse qui eût dû la rencontrer si la distance normale des couches n° 4 et n° 5 eût été la même que dans les travaux des crêts. Il paraîtrait que cette distance est un peu plus grande dans les régions inférieures; c'est un effet inverse à celui qu'on observe pour les distances normales des couches n° 2 et n° 3, qui sont, au contraire, à partir de l'étage de la Bastille, un peu plus rapprochées qu'aux étages supérieurs. On a donc, selon toutes les apparences, passé au-dessus d'une inflexion convexe de la petite couche; mais il est probable qu'étant continuée vers l'est, la traverse sud finira par la traverser deux fois; l'on atteindra ensuite de nouveau la couche du Bois de Bataille dans une région analogue à celle que l'on a explorée à l'extrémité de la traverse nord de l'étage n° 7, si toutefois cette couche ne s'infléchit pas un peu trop haut.

Les galeries d'allongement situées au niveau des Trois-Embranchements sont très-nombreuses et très-étendues, comme on le voit par le tableau ci-après :

Grande couche (repli de la Grande-Draye)	700m	Galerie principale.
Grande Couche (repli de la Rivoire)	450	
Couche Henriette	95	Galerie partant de la traverse nord.
Couche du Bois de Bataille	375	Cette galerie fait communiquer entre elles les deux traverses nord et sud, à l'est de la galerie principale.
En tout	1.620	

Étage n° 9. La Rivoire.

La galerie principale de cet étage est menée dans la Grande Couche, comme les deux galeries n° 7 et n° 8,

mais à 200 mètres environ vers l'ouest, ou plus exactement, vers l'ouest-sud-ouest. Elle paraît avoir été ouverte vers le point le plus bas d'une inflexion qui rattache la Rivoire à un autre repli encore imparfaitement étudié, situé plus à l'ouest. La longueur totale de cette galerie est de 750 mètres; elle arrive jusqu'à la limite nord de la concession; les 2 ou 300 derniers mètres s'infléchissent légèrement sur la gauche et tracent une espèce de demi-ellipse. Trois traverses normales aux couches viennent se rattacher à la galerie principale : la première, que l'on rencontre à 105 mètres du jour, se dirige vers l'ouest, et rejoint, au bout de 120 mètres, une branche de la Grande Couche, qui n'est autre chose, selon toutes les apparences, que le repli dont nous avons parlé tout à l'heure; la seconde, distante de 25 mètres seulement de la précédente, se dirige du côté de l'est, et après un parcours de 160 mètres rejoint la branche orientale de la Rivoire; la troisième traverse est à 450 mètres du jour; elle se dirige vers l'ouest et atteint à 115 mètres une branche identique, croyons-nous, à celle que la traverse n° 1 a rencontrée. La continuation des travaux, si notre manière de voir est exacte, aura pour résultat de dessiner à la gauche de la galerie principale, une demi-ellipse analogue à celle que tracent les galeries d'allongement de la Rivoire à l'étage n° 8. Une demi-ellipse à peu près semblable se dessinerait sur la droite si l'on exécutait, à l'étage n° 9, les galeries d'allongement du repli de la Rivoire; et les deux demi-ellipses seraient comme soudées ensemble par la galerie principale n° 9, dans les 400 premiers mètres de son parcours.

Travaux de la concession de Combéramis.

Cette concession est contiguë à celle de la Grande Draye, et la ligne de séparation est à quelques degrés près dirigée de l'ouest à l'est, Combéramis étant au

nord et la Grande Draye au sud. Il résulte de là qu'on doit s'attendre à retrouver aux couches de la concession de Combéramis, exactement la même allure qu'à celles de la Grande Draye ; seulement les points analogues doivent se trouver à un niveau plus bas. C'est en effet ce que montre la coupe (*fig.* 4) où nous avons tracé en traits pleins les portions de couches qui sont déjà parfaitement déterminées par les travaux mêmes de la concession, ponctuant celles dont la position n'est connue que par induction.

Les travaux actuellement existant dans cette concession se divisent naturellement, comme ceux de la Grande Draye, en deux catégories : 1° les travaux des Crêts, portant exclusivement sur les petites couches; 2° les travaux inférieurs dans lesquels les trois principales couches du bassin sont en exploitation.

Travaux des Crêts.

Nous ne dirons rien ici des travaux des Crêts, qui n'ont qu'un intérêt tout à fait secondaire, et sont d'ailleurs à peu près épuisés.

Travaux inférieurs aux Crêts. Étage n° 1.

Quant aux travaux inférieurs aux Crêts, ils comprennent deux étages distincts. La galerie principale de l'étage n° 1, le plus élevé, a été ouverte sur les affleurements mêmes de la Grande Couche, dans une partie qui correspond à la Bastille de la concession de la Grande Draye; on a suivi la couche jusqu'à la limite sud de la concession, sur une distance totale d'environ 220 mètres. Sur la gauche de la galerie principale, une galerie à travers bancs, dirigée d'abord vers le sud-est, puis vers l'est, a rencontré : plusieurs replis appartenant aux couches Henriette et du Bois de Bataille, ainsi qu'on le voit par la coupe (*fig.* 4); deux replis, convexes vers le haut, appartenant, l'un à la couche Henriette, l'autre à la couche du Bois de Bataille, ont échappé à la galerie à travers bancs qui passait au-dessus; on les a atteints et exploités en partie au moyen de la galerie inférieure.

Les travaux de dépilage de cet étage sont déjà très-avancés. Il reste cependant des galeries d'allongement à faire dans le dernier repli, nouvellement découvert, appartenant à la couche du Bois de Bataille, et aussi dans quelques portions de couches négligées jusqu'ici à cause des étranglements qu'on a rencontrés, étranglements qui peuvent ne pas avoir une aussi grande persistance qu'on paraît le craindre et qu'il faudrait explorer avec plus de persévérance qu'on ne l'a fait jusqu'ici.

L'étage n° 2 est desservi par une galerie de roulage, munie d'un chemin de fer, qui a été dirigée exactement vers le sud-est. Cette galerie est à peu près au même niveau que la galerie des Trois-Embranchements de la concession de la Grande Draye ; elle coupe la Grande Couche à 290 mètres du jour et à 820 mètres environ de l'entrée de la galerie des Trois-Embranchements ; ces 820 mètres étant mesurés, naturellement, dans la Grande Couche, savoir : 120 dans la concession de Combéramis et 700 dans la concession de la Grande Draye. Du côté du nord, la Grande Couche a été poursuivie, en direction jusqu'à ses affleurements, sur une longueur de 190 mètres environ. Au delà de la Grande Couche, la galerie principale a été continuée, toujours dans l'orientation sud-est, jusqu'à la rencontre d'une veine qu'on a appelée Faux-Filon, mais qui n'est autre que la couche Henriette, avec pendage direct (vers l'ouest). A 12 ou 15 mètres plus loin, la galerie, légèrement infléchie du côté de l'est, rencontre la couche du Bois de Bataille (filon du Derrouchay). Là, la galerie prend l'orientation N. 86° E., orientation normale, à 12° près à la direction moyenne des couches, et elle

rencontre, à 42 mètres du filon du Derrouchay, un premier repli à pendage inverse ; puis, 10 mètres plus loin, un deuxième repli à pendage direct, qui appartiennent évidemment à une même couche, la couche du Bois de Bataille. La galerie principale s'arrête quelques mètres plus loin ; il est certain, cependant, qu'au delà il existe d'autres replis appartenant aux couches Henriette et du Bois de Bataille ; ces replis s'infléchissent probablement au-dessus du niveau de la galerie principale, mais on les atteindrait inévitablement au moyen de traverses montantes.

On a pratiqué dans tous les replis rencontrés des galeries d'allongement souvent un peu trop inclinés à l'horizon. Le développement de ces galeries, en ne tenant compte que de la projection horizontale, est comme suit :

Grande-Couche.		310 mètres.	
Couche Henriette.		45	(inachevée).
Couche du Bois de Bataille.	1er repli	65	—
	2e repli	45	—
	3e repli	250	—

Indépendamment de ces travaux, nous mentionnerons ici une galerie de recherche, partant de la galerie principale, d'un point distant de 170 mètres du jour. L'objet de cette galerie était de recouper la portion de la Grande Couche qui dans la concession voisine forme la Rivoire. On voit par notre coupe que le point de départ D de cette galerie doit être peu éloigné du sommet de la Rivoire, de sorte qu'en se dirigeant vers le sud, comme on l'a fait en effet, sauf quelques sinuosités, on devait, à cause du relèvement général de l'axe des plis du côté du sud, s'approcher de plus en plus de la couche et probablement même l'atteindre tangentiellement, en poussant la galerie suffisamment loin. Mais il est évident qu'un tel travail ne pouvait

donner aucun résultat utile, du moins au point de vue de l'exploitation immédiate. Que s'il s'agissait d'une simple exploration, il eût été préférable de faire d'abord un sondage de 8 à 10 mètres ; puis, si l'on n'avait pas ainsi rencontré la couche, on eût foncé un puits de 10 à 15 mètres de profondeur, au fond duquel on eût pratiqué simultanément deux galeries à travers bancs, marchant, l'une vers l'est, l'autre vers l'ouest. Disons toutefois que ces explorations ne sont nullement nécessaires, grâce à l'ensemble des données que l'on possède sur les gîtes du bassin et à leur continuité bien reconnue.

Travaux de la concession du Peychagnard.

Les travaux de la concession du Peychagnard sont à 6 kilomètres environ des travaux de la Grande Draye. Ils sont à un niveau élevé de 6 à 700 mètres au-dessus du niveau de la Rivoire ; en tenant compte de l'inclinaison de l'axe des plis (10 centimètres par mètre), on voit qu'il y a correspondance parfaite dans les zones exploitées dans les deux concessions. Seulement il n'est pas possible de reconnaître dans ces deux concessions exactement les mêmes replis, soit que les travaux d'exploitation n'aient pas encore porté sur des régions absolument *analogues*, ce mot étant pris dans le sens que nous lui avons attribué plus haut, soit, ce qui nous paraît beaucoup plus probable, que les inflexions ne soient pas tout à fait identiques. Les accidents du sol au Peychagnard sont en général plus brusques ; aussi les couches sont-elles plus fortement relevées, leurs inflexions sont plus fréquentes et d'une amplitude moindre. C'est ce dont on peut juger par la coupe *fig.* 6, faite normalement à la direction moyenne des couches.

Disposition générale des travaux.

Il y a au Peychagnard quatre étages de travaux. A chaque étage la galerie principale s'avance dans l'intérieur de la montagne à peu près parallèlement aux

couches et ordinairement dans une couche même; puis, à des distances variables du jour, des traverses normales à ces galeries et aux couches servent à reconnaître et à exploiter les divers replis. L'aérage est assuré, de même que dans les autres concessions, par des communications ménagées entre les divers étages.

Les hauteurs respectives des trois niveaux supérieurs au-dessus du niveau de la galerie inférieure n° 4 sont les suivantes :

		Différences.
Galerie n° 1	57 mètres.	
		17 mètres.
Galerie n° 2	40	
		15
Galerie n° 3	25	

Étage n° 1. L'étage n° 1, le plus élevé, est entièrement épuisé; on y conserve seulement la galerie principale et un puits d'aérage communiquant avec l'étage n° 2.

Étage n° 2. A l'étage n° 2, l'on a exploré le bassin dans la profondeur assez restreinte qu'il présente dans cette région; les traverses normales à la galerie de direction atteignent d'une part les schistes talqueux, à l'ouest; d'autre part, à l'est, les grès liassiques. La Grande Couche, à ce niveau, est épuisée; les dépilages de la couche Henriette et de la couche du Bois de Bataille sont très-avancés.

Étage n° 3. La galerie principale de l'étage n° 3 a 500 mètres environ de longueur totale, ce qui est à peu près la profondeur de cette région du bassin, dans le sens de la direction des couches. Elle suit, dans la plus grande partie de sa longueur, une des branches de la Grande Couche. A cette galerie se rattachent deux traverses se dirigeant à l'est, du côté des calcaires, et une traverse dirigée à l'ouest vers les schistes talqueux. La

plus rapprochée du jour est la traverse ouest; elle est arrêtée à l'une des contre-pentes, probablement l'avant-dernière à ce niveau, de la couche Henriette. Les deux autres traverses, distantes de 120 mètres seulement l'une de l'autre, traversent plusieurs replis encore peu explorés, appartenant, les uns à la couche Henriette, les autres à la couche du Bois de Bataille.

Étage n° 4. L'étage n° 4 est celui dont les travaux ont le plus d'importance, et par leur développement et aussi parce que cet étage, parfaitement aménagé, n'a encore été dépilé sur aucun point, excepté dans une région de la Grande Couche voisine des affleurements. La galerie principale suit la Grande Couche sur une longueur de 250 mètres environ; elle s'infléchit au sud en suivant une inflexion convexe vers le haut et rejoint ensuite, à travers bancs, les travaux de l'étage n° 3 pratiqués dans l'inflexion subséquente, laquelle a sa convexité tournée vers le bas. De cette galerie partent trois traverses, deux dirigées vers l'ouest et la troisième vers l'est. La plus rapprochée du jour se dirige à l'ouest; elle a atteint récemment les schistes talqueux; elle rencontre un certain nombre de replis dont les positions respectives sont indiquées dans la coupe *fig.* 6. La plus éloignée du jour est dans le même sens et explore les mêmes replis. La traverse intermédiaire commence à 100 mètres du jour; elle se dirige d'abord au sud-est sur une longueur de 200 mètres, puis à l'est-sud-est sur une longueur de 190 mètres. Cette traverse est dans tout son parcours à une faible distance horizontale (60 à 90 mètres) des affleurements des replis successifs qu'elle rencontre; ces replis sont au nombre de 14; la Grande Couche est coupée trois fois. De ce côté, on se trouve avoir atteint la formation calcaire; mais malgré le voisinage des calcaires, et bien qu'on

ait rencontré sur plusieurs points des travaux anciens dont on ignore la véritable étendue, il est évident qu'il reste encore des ressources très-considérables.

TROISIÈME PARTIE.

ÉVALUATION DE LA RICHESSE DU BASSIN DU DRAC. — INDICATIONS SUR LES TRAVAUX DE RECHERCHE ET D'AMÉNAGEMENT A EXÉCUTER. — VOIES DE COMMUNICATION.

Principes à suivre dans l'évaluation de la richesse d'un bassin.

Dans l'évaluation des ressources que peut renfermer un bassin, il est indispensable de distinguer : 1° celles qui sont exactement reconnues et immédiatement disponibles, sauf l'exécution des travaux qui doivent préparer les dépilages ; l'importance de ces ressources est toujours susceptible d'être fixée avec une grande précision, du moins lorsqu'on possède des plans exacts des travaux ; 2° celles qui doivent être fournies par des couches dont on connaît l'existence et l'allure générale, mais qu'il faut aller chercher dans des régions qu'on n'a pas directement explorées par des galeries d'allongement. L'estimation des ressources de cette deuxième catégorie ne peut se faire, on le comprend, que d'une manière fort incertaine, puisqu'on n'a que des données incomplètes sur les accidents plus ou moins importants, tels qu'inflexions, étranglements, que l'on doit s'attendre à rencontrer. Ajoutons que, dans les cas où, comme cela a lieu pour le bassin du Drac, le terrain qui renferme les dépôts de combustible s'enfonce sous des terrains plus modernes, d'une épaisseur non reconnue, il convient alors, pour ne présenter que des appréciations vraiment sérieuses, de ne point porter en ligne de compte les richesses qui peuvent exister dans le prolongement hypothétique des gîtes

à une grande distance des régions actuellement exploitées.

Évaluation de la richesse du bassin du Drac.

L'application de ces principes à l'étude du bassin du Drac nous a conduit, au moyen de calculs qu'il serait beaucoup trop long de reproduire ici, à des résultats dont nous donnons le résumé dans le tableau ci-après. On remarquera que nous n'avons considéré isolément que les trois concessions de la Grande Draye, du Peychagnard et de Combéramis ; ce sont les mieux étudiées et les plus riches en ressources immédiates ou prochaines. Nous avons réuni ensemble les dix autres concessions et présenté enfin, au bas du tableau, les chiffres qui s'appliquent à la totalité du bassin.

NOMS DES CONCESSIONS.	RESSOURCES aménagées.	RESSOURCES non aménagées.	TOTAL des deux colonnes précédentes.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
La Grande Draye.	522.000	3.230.000	3.752.000
Le Peychagnard.	154.000	2.795.000	2.949.000
Comberamis.	84.000	2.895.000	2.979.000
Autres concessions. . . .	20.000	750.000	770.000
TOTAUX. . . .	780.000	9.670.000	10.450.000

Durée probable du bassin.

La principale conséquence qu'on peut déduire de ce tableau est celle-ci, que, dans l'hypothèse d'une production annuelle de 100,000 tonnes, la durée probable de l'exploitation des gîtes actuellement connus dans le bassin est d'environ 104 années ; elle serait deux fois plus considérable si la consommation ne devait pas dépasser l'importance qu'elle a aujourd'hui.

Mais on ne doit pas perdre de vue que nous n'avons pas cherché à tenir compte des gîtes qui peuvent exister dans les régions non explorées du bassin, notamment dans les points où le bassin s'enfonce au-dessous des calcaires. Il y a lieu de penser cependant que, dans le prolongement des gîtes sous les calcaires, on trouvera,

dans un avenir plus ou moins éloigné, des ressources presque indéfinies; seulement, les frais d'extraction deviendront nécessairement de plus en plus considérables, et par suite les prix du charbon de plus en plus élevés.

Travaux de recherche et d'aménagement.

Venons maintenant à quelques indications sur les travaux d'avenir qu'exigera le développement des ressources du bassin.

1° Dans la concession la Grande-Draye.

On a pu voir, par le tableau qui précède et mieux encore par les descriptions détaillées que nous avons données, dans la deuxième partie de ce mémoire, que l'aménagement des couches de la Grande Draye est très-satisfaisant. Les travaux d'exploration, dans cette concession, sont largement développés et judicieusement conduits. En définitive, au moyen des travaux tels qu'ils sont aujourd'hui, et sans exécuter aucune galerie au rocher ni même aucune galerie d'allongement, mais seulement les montantes et les traverses de niveau nécessaires au dépilage des massifs reconnus, cette mine pourrait à elle seule alimenter la consommation pendant dix ans, en supposant que les besoins ne dussent pas s'accroître dans ce laps de temps; par là les concessionnaires pourraient tripler ou quadrupler les bénéfices annuels de l'exploitation, mais en marchant vers l'épuisement des gîtes. Il n'est pas à craindre, hâtons-nous de le dire, qu'un tel système soit suivi, à en juger par l'esprit d'intelligente prévoyance qui a présidé jusqu'ici à l'exploitation.

Nous avons peu à dire sur les travaux d'avenir nécessaires dans cette concession, attendu que tout se réduit à poursuivre et à développer le système d'aménagement adopté. Remarquons toutefois que le 9e étage, le plus important par l'énorme quantité de combustible qu'il paraît devoir donner, n'a été que très-imparfaitement étudié, bien qu'il soit depuis longtemps en cours d'exploitation, et que sur certains points on y ait déjà pratiqué des dépilages évidemment prématurés (1). Il est très-essentiel que les galeries d'allongement de cet étage soient continuées avec le plus d'activité possible, principalement celles qui sont ouvertes à la gauche (ouest) de la voie principale. C'est de ce côté, en effet, que règnent les plus grandes incertitudes sur la constitution du bassin. On devra aussi poursuivre la galerie au rocher n° 3, dont l'avancement est suspendu depuis quelques années. Nous sommes porté à croire que cette galerie, bien qu'elle se rapproche à la fois de la limite ouest de la concession et des affleurements des couches, atteindra encore, à une faible distance du point où l'on s'est arrêté, un nouveau repli de la Grande Couche, offrant un pendage vers l'est.

Aussitôt que le 9e étage aura été complétement exploré, et deux ans tout au plus doivent suffire, on aura alors toutes les données nécessaires pour déterminer l'emplacement et la direction d'une 10e galerie d'écoulement, qu'il sera essentiel de commencer sans plus tarder.

2° Dans la concession du Peychagnard.

Comme la Grande Draye, la mine du Peychagnard est très-judicieusement aménagée. Les ressources immédiatement disponibles sont très-considérables et plus considérables que dans la concession de la Grande Draye, eu égard, bien entendu, à l'importance très-différente que l'extraction annuelle moyenne atteint

(1) Nous voulons parler du repli de la grande couche appelé la Croix, qui s'étend à gauche de la galerie principale. Ce repli a été entièrement déplié, antérieurement à l'année 1847, et il n'est pas possible aujourd'hui de pénétrer dans les vieux travaux pour y étudier l'allure de la couche.

dans l'une et l'autre concession. La cause principale de l'infériorité de la production du Peychagnard réside dans la situation défavorable de cette mine pour les transports. J'examinerai tout à l'heure ce qu'il serait possible de faire à cet égard.

Quant aux travaux intérieurs, la marche à suivre dans l'avenir résulte de la description que j'ai donnée de leur état actuel. Il faudra poursuivre les galeries d'aménagement commencées et ouvrir en même temps des galeries d'allongement dans les nombreux replis récemment recoupés par la traverse est (n° 2) de l'étage inférieur, et explorer ces replis d'une part jusqu'à leurs affleurements vers le nord-est, de l'autre jusqu'aux contournements que l'on doit s'attendre à rencontrer au sud-ouest, dans l'intérieur du bassin. Ce qui ne sera pas moins essentiel, ce sera de reprendre l'avancement, suspendu depuis plusieurs années, de la galerie principale de l'étage inférieur. Il conviendra de la conduire, à peu près parallèlement aux couches, jusqu'au centre de la concession et au delà; on arrivera, de cette manière, dans des régions encore inexplorées à cet étage. Au fur et à mesure qu'on avancera ainsi, il faudra explorer le bassin normalement aux couches, au moyen de traverses suffisamment rapprochées l'une de l'autre et dirigées les unes vers l'est, les autres vers l'ouest. Il est probable que l'on rencontrera, outre les couches secondaires, la Grande Couche elle-même, par suite de l'inclinaison que les plis présentent habituellement vers le nord. On mettra ainsi à découvert, selon toutes les apparences, des ressources extrêmement considérables, à peine soupçonnées aujourd'hui.

Un cinquième étage d'exploitation devra être créé dans quelques années ; mais ce travail n'est nullement pressé, à moins qu'on ne veuille donner, dans l'avenir, une plus grande extension à la production de la mine.

3° Dans la concession de Comberamis.

Les travaux actuels de Comberamis sont à la veille d'être épuisés. A la vérité, il reste encore à explorer quelques replis recoupés par les galeries principales du premier et du deuxième étage, et d'autres replis qui sont situés plus à l'est et que l'on atteindra en prolongeant ces galeries. Ces explorations ne doivent pas être négligées; mais comme elles ne porteront que sur les couches secondaires, les ressources qui en résulteront ne pourront suffire à maintenir l'extraction au chiffre élevé qu'elle a atteint dans ces dernières années, grâce au développement donné aux dépilages ouverts dans la Grande Couche. Il est donc indispensable d'attaquer sans retard, au moyen d'une nouvelle galerie d'écoulement, les replis de la Grande Couche qui s'étendent en contre-bas des travaux actuels. L'existence de ces replis n'est pas douteuse; ils sont le prolongement immédiat de ceux qu'on exploite dans la concession de la Grande Draye. On peut voir, par la coupe *fig.* 4, où nous avons simplement reproduit, en les traçant en lignes ponctuées, les diverses inflexions de la Grande Couche et des couches secondaires telles que les font connaître les travaux de la Grande Draye, quelle est, suivant toutes les probabilités, la structure du bassin dans les régions que traversera la galerie d'écoulement.

L'emplacement de cette galerie est aisé à choisir : l'on a en effet des notions très-précises sur les couches qu'il s'agit d'atteindre et, de plus, le terrain présente une pente assez uniforme (vers l'ouest). Le mieux sera de se placer exactement ou à peu près à l'ouest de l'entrée de la galerie inférieure, à une distance telle que l'amont-pendage ménagé entre les deux niveaux soit de 25 à 30 mètres et de se diriger normalement aux cou-

ches, c'est-à-dire ici E. 8° S. On ne doit pas ouvrir la nouvelle galerie à moins de 25 mètres en contre-bas des travaux actuels, afin d'être assuré d'atteindre la Rivoire et de pouvoir l'exploiter sur une assez grande hauteur. Il serait également hors de propos de mettre plus de 30 mètres d'intervalle entre les deux niveaux : on ne pourrait, en effet, à cause de la faible pente du sol, acheter un léger accroissement d'amont-pendage qu'au prix d'une beaucoup plus grande longueur donnée à la galerie, qui déjà, dans les conditions ci-dessus énoncées, aura environ 450 mètres à parcourir avant d'arriver à la branche de la grande couche qu'on exploite dans les travaux actuels; d'ailleurs un amont-pendage trop étendu est toujours peu commode pour les dépilages.

Je répète que l'exécution de cette galerie ne devrait pas être plus longtemps différée. Il faut observer toutefois qu'on serait dispensé de recourir à un percement aussi coûteux, si l'on pouvait utiliser les galeries d'extraction déjà ouvertes dans la concession de la Grande Draye, aux étages nos 8 et 9. Ce serait même là, au point de vue purement technique, le meilleur système d'aménagement; mais ce système suppose une fusion d'intérêts qui, bien que fort désirable à mon avis, ne laisse pas que de présenter de sérieuses difficultés, de quelque manière qu'elle soit tentée.

4° Dans les concessions de Puteville, du Châtelard, etc.

Les travaux d'exploitation des autres concessions du bassin ont été jusqu'ici fort peu développés. On est cependant assuré de l'existence de la Grande Couche dans la plupart de ces concessions. Dans celle de Puteville, notamment, contiguë à la Grande Draye, on a exploité, il y a déjà bien longtemps, un gîte d'une épaisseur de 10 à 12 mètres, se relevant de tout côté, de manière à former un berceau elliptique dont le grand

axe se dirigeait du nord au sud : ce gîte appartenait évidemment à la Grande-Couche; il serait intéressant de rechercher s'il n'existerait pas d'autres replis plus ou moins éloignés. A la vérité, le voisinage des schistes talqueux laisse peu d'espérances. Dans la concession du Châtelard, qui touche aux concessions de Combéramis et de la Grande-Draye, on sait positivement qu'il existe une couche de 10 à 15 mètres de puissance (prolongement évident de la Grande-Couche) qui a été délaissée, parce qu'elle ne donnait qu'un combustible très-friable, sans débit dans le commerce. Mais outre que les explorations ont été très-peu développées et qu'il est presque certain que l'anthracite s'améliorerait à une certaine distance des affleurements, il ne serait peut-être pas impossible d'arriver bientôt à tirer parti des charbons friables ou des menus. Nous reviendrons tout à l'heure sur la question des menus qui est liée à celle de l'amélioration des voies de transport.

Enfin, dans la concession des Boînes, où l'on a exploité, de 1834 à 1847, les couches secondaires; dans celle de Serre-Leycon, où les mêmes couches sont en ce moment en cours d'exploitation, et dans la concession des Chuzins, il y aurait à rechercher dans le voisinage des calcaires le prolongement de la Grande-Couche. Ces trois concessions sont contiguës à celle du Peychagnard. C'est surtout dans la concession des Chuzins, la mieux placée quant aux transports, que de telles explorations auraient de l'intérêt.

5° Dans les terrains non concédés.

Indépendamment des recherches à faire dans les terrains concédés, la seule inspection de la carte géologique jointe à ce mémoire, montre que diverses régions non encore concédées pourraient être explorées avec de grandes chances de réussite. Pour ne parler que des régions où le succès nous paraît le plus pro-

bable, nous désignerons ici : 1° la zone allongée que l'on observe aux environs de Saint-Théoffrey et qui vient se réunir, vers le sud, aux concessions de Combéramis et de Pierre-Châtel ; 2° les alluvions qui recouvrent, au sud du bassin, les grès du Peychagnard et des Chuzins. Ces alluvions sont probablement peu épaisses, du moins près du flanc des montagnes.

Indications générales sur la méthode à suivre dans les recherches.

Je crois utile de donner maintenant quelques indications générales relativement à la méthode à suivre dans les travaux d'exploration.

La meilleure méthode d'exploration est, sans contredit, celle qu'on a été naturellement conduit à employer dans les trois concessions les plus riches ou du moins les mieux étudiées du bassin, la Grande-Draye, Combéramis et le Peychagnard, et qui consiste à suivre les gîtes dans leur inclinaison, d'étage en étage. De cette manière, les données que fournit l'exploitation d'un étage servent de guide pour la recherche des gîtes à l'étage immédiatement inférieur. Partout où une telle méthode peut être employée, il est sage de ne pas devancer les progrès naturels de l'exploitation par des recherches qui seraient faites bien au-dessous des régions que l'on connaît et que l'on exploite.

Que s'il s'agit d'entreprendre des fouilles loin de toute exploitation, il faut alors rechercher avec soin les affleurements, presque toujours marqués à la surface du sol par des traces apparentes, surtout quand ils se rapportent à des gîtes de quelque importance. On étudiera tout d'abord ces affleurements, en combinant une ou deux galeries d'allongement exécutées sur le mur même avec des galeries montantes ou descendantes sur le mur suivant la ligne de plus grande pente, et quelques galeries transversales allant du mur au toit dans le cas où l'épaisseur du gîte dépasse la largeur

des galeries. Ces études préliminaires faites, si leur résultat est satisfaisant, il conviendra généralement d'attaquer la couche par une galerie à travers bancs, ouverte à 15 ou 20 mètres en contre-bas des affleurements explorés. La direction de la galerie dépendra naturellement des circonstances locales et de l'allure qu'on aura reconnue aux affleurements. Néanmoins, on devra ordinairement s'écarter le moins possible de la direction est-ouest (ou l'inverse) ; car on sera assuré ainsi de marcher à peu près normalement à la direction des couches du bassin, circonstance d'autant plus essentielle qu'après avoir rencontré la couche vers laquelle on s'est dirigé par la connaissance de ses affleurements, il sera presque toujours à propos de pousser plus loin la galerie à travers bancs, afin d'explorer le bassin dans sa profondeur. A mesure que l'on s'avancera ainsi, les couches traversées devront être explorées par des galeries d'allongement ; on devra, en même temps, à l'aide de plans bien exacts, tâcher de se faire une idée des inflexions qui peuvent exister en dessus ou en dessous du niveau où l'on se trouve, et chercher aussi à identifier, si cela est possible, les couches explorées avec celles dont nous avons fait connaître les caractères ; par là on pourra arriver à savoir dans quelle région du bassin on se trouve et quels résultats probables doit donner la continuation de la galerie à travers bancs.

Il peut se faire que, dans les terrains que l'on veut explorer, on n'ait pu observer aucune espèce d'affleurements ou que les affleurements observés soient tout à fait insignifiants et irréguliers. Même dans cette hypothèse, des recherches peuvent quelquefois être entreprises avec chance de succès ; il y a alors certaines règles qu'il est indispensable de suivre.

En premier lieu, l'on doit éviter autant que possible le voisinage des schistes talqueux. On a vu, en effet, dans la première partie de ce mémoire, que la Grande-Couche est dans les régions les plus élevées du terrain anthracifère, et qu'entre la dernière couche, laquelle est rarement exploitable, et la formation talqueuse, il existe ordinairement une épaisseur de grès stériles d'environ 150 mètres, mesurée normalement aux couches, et beaucoup plus grande en suivant la surface du sol. Il est mieux de se rapprocher des calcaires, on a ainsi plus de chances de rencontrer la Grande-Couche.

Une fois l'emplacement des fouilles déterminé on ouvrira une galerie, si toutefois la pente du sol est assez prononcée, c'est-à-dire si elle excède 10 à 12 centimètres par mètre. Ici, avec plus de raisons encore que lorsqu'on a des affleurements déjà reconnus, on devra diriger la galerie de recherche à peu près exactement de l'est à l'ouest (ou l'inverse), à moins de circonstances locales exceptionnelles, qu'il faut, autant que possible, tâcher d'éviter. Il serait puéril de se préoccuper beaucoup de la forme arrondie ou ravinée des pentes que l'on doit attaquer; ce n'est là qu'un élément très-secondaire auquel on a accordé jusqu'ici beaucoup trop d'importance (1).

(1) Dans beaucoup de recherches qui ont été entreprises dans le bassin du Drac et notamment dans la concession de Pierre-Châtel, les explorateurs se sont laissés visiblement guider par cette idée, que c'est de préférence sous les mamelons de forme arrondie que doivent se trouver les masses les plus abondantes de combustibles. De là des galeries de recherche très-inclinées aux couches du terrain et marchant même quelquefois exactement du nord au sud ou inversement.

L'idée de la correspondance des mamelons aux gîtes de combustible se retrouve, formulée en ces termes dans le mémoire cité ci-dessus, que M. Frank a consacré aux mines du Drac : « Les masses d'anthracite des Alpes prennent généralement

Si le sol n'offre qu'une pente très-faible, on ne pourra plus procéder que par puits verticaux ou par des sondages. Le sondage devra surtout être employé dans les cas où il faut s'attendre à traverser, avant d'arriver à la formation anthracifère, une forte épaisseur de calcaires ou de terrains d'alluvion.

Il nous reste à examiner maintenant quelles sont les améliorations qui pourraient être réalisées soit dans le système d'exploitation en usage, soit dans les voies de communication.

Améliorations à introduire dans le système d'exploitation et dans les voies de communication.

Quant au système d'exploitation (1), il présente une

De l'extraction des menus.

» naissance sous des mamelons, se prolongent et se terminent » avec eux, dans une direction absolument semblable à celle » de leur crête. Chaque modification dans cette direction est » accompagnée d'un étranglement. La régularité de ces masses, » leur étendue sont donc relatives à celles de ces mamelons. » Elles se prolongent rarement au delà d'affaissements mar- » quants; quand ils sont moins apparents, elles ne sont in- » terrompues que jusqu'au prochain relèvement du sol. La » dureté de l'anthracite est en raison de celle de ses salbandes » et de leur inclinaison; cette inclinaison est en rapport avec » celle du versant du mamelon. La connaissance superficielle » de ces lois invariables révèle les principes auxquels doi- » vent être astreintes les recherches d'anthracite dans le canton » de la Mure. Une étude plus approfondie conduirait probable- » ment à des conséquences d'un intérêt plus général. » (*Annales des mines*, 1849, page 549).

Il y a cependant quelque chose de vrai dans ces observations qui sont seulement incomplètes et ne doivent pas être trop généralisées. Au-dessus des masses de combustible arrondies, comme est par exemple la Rivoire (concession de la Grande-Draye), le terrain a dû présenter, dans l'origine, une forme analogue; mais la plupart du temps cette forme a disparu à peu près complétement par l'effet des dénudations. Aujourd'hui, les mamelons bien compactes appartiennent le plus habituellement aux grès stériles qui forment la base du terrain anthracifère, ce qui s'explique par la dureté extrême que ces grès présentent presque constamment.

(1) J'ai eu l'occasion de renvoyer, pour la description des procédés d'exploitation, aux mémoires publiés par M. Giroud et par M. Frank, dans les *Annales des mines*.

imperfection très-grave ; on abandonne au fond des travaux presque tous les menus produits par les dépilages. D'après M. Giroud, la proportion des menus abandonnés forme, dans les mines de la Grande-Draye et du Peychagnard, à peu près 1/5 de la totalité. Il y a lieu de penser que cette proportion est dépassée dans beaucoup d'ateliers d'abatage et qu'en moyenne il faudrait plutôt l'évaluer à 1/4 (1).

L'extraction des menus n'entraînerait aucune modification radicale dans les procédés d'exploitation que l'on suit aujourd'hui. A la vérité, ces menus servent de remblais, associés aux débris du toit dont la chute accompagne les dépilages d'étage en étage. Mais ce supplément de remblais, dans la plupart des cas, n'est pas indispensable, et d'ailleurs on pourrait, sans trop de frais, introduire au besoin dans la mine des remblais apportés de l'extérieur. Il ne serait même jamais nécessaire de remblayer ainsi qu'un ou deux étages, après quoi on continuerait à exploiter sans remblais rapportés, absolument commme on le fait aujourd'hui.

La seule difficulté dans la question de l'utilisation des menus réside dans le manque de débouchés et le

(1) M. Gueymard, dans sa *Statistique de l'Isère* (1844), évalue à 1/4 la proportion des menus abandonnés. M. Gueymard dit à ce sujet : « J'ai tellement senti la nécessité d'avoir recours » dans un siècle environ aux menus laissés dans les travaux » souterrains ou bien aux gîtes vierges d'anthracite friable, » que j'ai engagé tous les concessionnaires de conserver avec » soin les plans des travaux souterrains, avec beaucoup de » notes sur les menus. Je les ai invités en même temps à laisser » dans leurs archives toutes les notes qui se rapportent aux » fouilles qui n'ont mis à découvert que le combustible friable » et qui n'a aucun débit en ce moment. On sera trop heureux, » dans les temps reculés il est vrai, de rencontrer des com- » bustibles fossiles quels qu'ils puissent être, car les besoins se » feront vivement sentir dans toutes les classes sociales. » (*Statistique générale du département de l'Isère*, t. I, p. 504.)

manque de débouchés tient presque exclusivement aux conditions dans lesquelles les transports se font aujourd'hui.

Prix de l'anthracite sur les lieux d'extraction et dans les principaux centres de consommation.

Dans l'état actuel des choses, le prix de l'anthracite qui sur les lieux d'extraction est de 8 francs la tonne au plus, et descend même à 6 francs pour les mines les plus éloignées des routes, est bien plus élevé dans les principaux centres de consommation. A Grenoble, où se transportent les 3/4 au moins des produits extraits, le prix moyen de vente est de 21 francs et atteint quelquefois, pendant les saisons défavorables aux transports, 23 francs ou même 24 francs; soit de 13 francs à 16 francs de frais de transports pour une distance qui n'est, en moyenne, que de 35 kilomètres. A la Mure, le prix de vente ne descend pas au-dessous de 13 francs; à Gap (Hautes-Alpes), il s'élève à 42 francs.

Ces chiffres font ressortir l'imperfection des voies de communication qui desservent les mines et expliquent l'impossibilité de tirer parti des menus, dont le transport serait plus coûteux encore à cause des difficultés de manipulation.

De l'établissement d'un chemin de fer pour relier le bassin du Drac à Grenoble.

Il n'y a aucune amélioration notable à attendre en conservant les voies de terre actuelles, dont le tracé et l'entretien sont, à tout prendre, assez satisfaisants. Examinons donc en quelques mots s'il ne serait pas possible de relier le bassin à Grenoble par l'établissement d'un chemin de fer.

Deux tracés.

Deux tracés très-différents peuvent être mis en présence.

L'un suivrait la vallée du Drac, en descendant le long des pentes de la montagne de Monteynard; la différence de niveau entre Grenoble et les principales exploitations, qui est de 7 à 800 mètres, serait rachetée

par un système de plans inclinés automoteurs où les wagons pleins remonteraient les wagons vides. Ces plans inclinés pourraient se développer jusqu'à Champ, à 12 kilomètres de Grenoble, non loin du confluent du Drac et de la Romanche; au delà la voie serait tout à fait en plaine et n'aurait qu'une pente de 1/2 centimètre par mètre.

Le deuxième tracé remonterait la vallée de Notre-Dame-de-Vaux, franchirait le col peu élevé qui sépare cette vallée de celle de Laffrey et à partir de là descendrait, par des plans inclinés, sur Mésage ou Vizille; on suivrait ensuite la Romanche et le Drac.

De ces deux tracés, le premier nous paraît bien préférable sous tous les rapports. Il exige moins de travaux d'art et se prête plus aisément à la construction de plans automoteurs; enfin, et c'est là une considération décisive, il se concilie beaucoup mieux avec le développement que, dans l'avenir, les exploitations prendront nécessairement dans le sens de l'inclinaison générale des couches, de l'est à l'ouest.

Aperçu des conditions économiques du premier tracé.

Quels seraient les frais d'établissement et d'exploitation dans le premier tracé, le seul que je croie utile d'examiner ici? Les études que j'ai faites sur ce point n'ont pu être assez approfondies pour me permettre de donner des chiffres très-approchés. J'ai lieu de penser toutefois que l'on pourrait ne pas dépasser une dépense de 90.000 francs par kilomètre, soit 3 millions 1/2 pour le parcours total, capital dont l'intérêt annuel serait, à 5 p. 100, de 175.000 francs. En évaluant à 125.000 francs les frais d'entretien et d'exploitation, pour un tonnage de 3 à 4 millions de quintaux métriques, on arrive à une dépense annuelle de 300.000 fr. D'après cela, on voit que 30.000 tonnes par an seraient transportées à raison de 10 francs par tonne, tandis que

le prix minimum actuel est de 13 francs; or, dans l'état présent de la consommation, on peut déjà s'attendre incontestablement à avoir à transporter plus de 30.000 tonnes.

Il est facile de calculer quelle serait l'économie obtenue dans l'hypothèse, assez probable d'après ce qu'on a vu dans la première partie de ce mémoire, où la consommation viendrait à s'élever à 100.000 tonnes par an. Sur ce chiffre, Grenoble et les marchés qui y aboutissent absorberaient environ 80.000 tonnes; l'augmentation des frais d'exploitation serait d'ailleurs peu considérable; en sorte que le taux du transport descendrait à 4 francs ou 4 fr. 50 centimes. Bien avant d'atteindre cette limite, la presque totalité des menus trouverait un débit assuré, à la faveur d'une différence établie entre leurs prix de vente et les prix de vente des charbons durs (1).

Importance de la question de l'établissement d'un chemin de fer entre le bassin du Drac et Grenoble.

On voit par ce que nous venons de dire de quelle importance est, au point de vue de l'avenir des mines du Drac et des intérêts des consommateurs, la question de l'amélioration ou pour mieux dire de la transformation des voies de transport. Cette question mérite d'être dès à présent étudiée de la manière la plus sérieuse. Les propriétaires de mines d'anthracite ne doivent pas perdre de vue que l'achèvement prochain du chemin de fer de Saint-Rambert à Grenoble et le prolongement très-probable de cette voie jusqu'à Saint-Étienne, en ligne directe, amèneront les houilles de la Loire aux environs de Grenoble à des prix beaucoup moins élevés qu'aujourd'hui. Or chacun sait que

(1) Au besoin, on aurait recours à des procédés d'agglomération analogues à ceux que l'on suit pour les houilles menues de la Loire.

les houilles de la Loire, outre les usages auxquels elles sont exclusivement propres, sont préférées à l'anthracite à prix égal, ou du moins luttent avec des chances balancées pour presque toutes les consommations soit domestiques, soit industrielles. N'est-il donc pas à craindre que l'invasion des houilles de la Loire sur les principaux marchés du département de l'Isère ne vienne paralyser ou du moins diminuer dans une forte proportion la production des mines d'anthracite? Et au point de vue des intérêts généraux de la consommation, n'est-ce pas en perfectionnant les voies de communication et en opposant les uns aux autres les combustibles d'origines diverses, même étrangère, que l'on peut espérer de trouver le meilleur remède à la hausse constante qui, depuis quelques années, se fait sentir dans les principaux bassins, au grand détriment de beaucoup d'industries que les progrès de cette hausse menacent dans leurs conditions d'existence?

Établissement prochain d'un plan incliné automoteur au Peychagnard.

Au surplus, nous croyons savoir que déjà les propriétaires de la mine du Peychagnard, l'une des plus importantes du bassin du Drac, sont à la veille d'établir des plans inclinés avec chemin de fer, afin de relier à la plaine de la Mure les exploitations de cette concession. Le parcours de ces plans inclinés sera de 15 à 1800 mètres environ. Ce sera là comme un premier pas dans la voie où nous pensons qu'à tous égards il serait désirable que l'on entrât sans trop différer.

SUR LE

TÉLÉGRAPHE DES TRAINS, DE M. BONELLI,

ET

LE PARTI QU'ON POURRAIT EN TIRER

COMME MOYEN DE SURETÉ DANS L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER.

Par M. COUCHE,
ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

---

1. L'opinion publique s'est préoccupée plus que de coutume de la brillante expérience inaugurée par M. Bonelli sur le chemin de Turin à Gênes, et qu'il vient de reproduire pendant deux mois sur le chemin de Versailles (rive droite). Si familiarisé qu'on soit aujourd'hui avec les merveilles de la télégraphie électrique, il y a dans cette faculté donnée aux trains lancés à toute vapeur d'échanger une conversation suivie, un prestige qui frappe vivement l'imagination.

N'est-ce là, comme le pensent quelques personnes, qu'une expérience curieuse, mais stérile? — S'agit-il, au contraire, comme d'autres l'ont dit, d'un principe fécond, renfermant en germe des gages de sécurité inespérés, et destiné à transformer complétement le système de signaux aujourd'hui en usage sur les chemins de fer?

Il semble que ces deux appréciations sont également peu fondées : l'une, parce qu'elle méconnaît la portée, réelle selon moi, de la conception de M. Bonelli; l'autre, parce qu'elle l'exagère et la généralise outre mesure.

Je me propose d'examiner rapidement dans cette note :

1° Si le jeu de l'appareil, tel que l'a exécuté l'inventeur piémontais, présente assez de garanties pour jus-

tifier la tentative d'une application régulière au service des chemins de fer;

2° Comment cette application peut être définie.

I.

2. Le conducteur télégraphique, placé suivant l'axe de la voie, est formé d'une barre de fer posée de champ, et possédant ainsi une grande roideur verticale. Son équarrissage dépend de la longueur du conducteur; celui que M. Bonelli a établi entre les Batignolles et Suresnes a $0^m,02$ sur $0^m,004$, dimensions qui suffiraient, d'après l'auteur, pour un développement de 60 à 80 kilom. (*), mais qu'on ne pourrait guère réduire, même pour une longueur beaucoup moindre, car la barre n'aurait plus alors la rigidité nécessaire.

La barre conductrice est supportée par des broches implantées dans les traverses. L'isolement est produit par des cloches en porcelaine, scellées sur le sommet des broches, et munies d'une rainure dans laquelle la barre est engagée sur une grande partie de sa hauteur. Des solutions de continuité, ménagées de distance en distance dans le conducteur, assurent le libre jeu des dilatations; mais les deux tronçons consécutifs sont juxtaposés sur une largeur de 3 ou 4 centimètres, afin

(*) Voici la condition fondamentale de l'établissement d'une correspondance régulière entre tous les trains et toutes les stations mis en rapport par la *barre de ligne* : il faut que la résistance opposée par celle-ci au passage des courants soit inférieure à la résistance de l'appareil télégraphique dont on fait usage. Si, par exemple, cet appareil équivaut à un fil de 4 mill. de diamètre et de 10 kilomètres de longueur, la barre devra être équivalente à une longueur moindre, soit 9 kilomètres du même fil. Si donc elle a elle-même 60 kilomètres de longueur, sa section sera, d'après la loi de Davy, $\frac{4\pi \times 60}{9} = 83$ millimètres quarrés.

d'offrir aux *contacts glissants* (3) une surface non interrompue. Un ressort en cuivre, placé latéralement, rétablit d'ailleurs la continuité métallique.

3. L'appareil, qui sert à la fois à l'envoi et à la réception des dépêches, est un télégraphe de Wheastone à une seule aiguille. La source d'électricité est une pile à sable qui produit, comme on sait, pendant des mois entiers et sans aucun entretien, un courant d'une constance parfaite. Le fil de l'électro-aimant est mis en communication permanente avec la barre conductrice de la voie par l'intermédiaire d'un châssis métallique, suspendu sous le wagon, et armé inférieurement de trois ressorts ou *contacts* pressés contre la barre sur laquelle ils frottent; le circuit se ferme par les supports métalliques du wagon, les rails, et la terre. Ce triple contact, l'élasticité des ressorts, et leur largeur, rachètent parfaitement les mouvements irréguliers, verticaux et transversaux, du wagon, et assurent ainsi la permanence de la continuité métallique. Dans l'appareil *au repos*, les choses sont, comme dans le télégraphe fixe, disposées pour la réception de toute dépêche envoyée, soit de l'avant, soit de l'arrière.

La dépense de l'établissement du conducteur d'essai s'élève à 400 francs par kilomètre, soit 800 francs pour un chemin à deux voies. Pour une installation définitive, M. Bonnelli l'évalue comme il suit :

	fr.
Fer plat pour la barre de ligne. . .	250
1.000 piquets ou broches.	150
1.000 isolateurs en porcelaine. . . .	100
52 jonctions.	12
Pose des piquets.	5
Pose de la barre.	50
Repassage.	15
	562 par kilom. de voie simple.

4. L'isolement d'un conducteur qui rase pour ainsi dire le sol semble devoir être bien imparfait ; on peut craindre que le courant utile ne soit affaibli outre mesure par l'intensité des courants dérivés, d'autant plus que la pression assez considérable à laquelle le conducteur est soumis a forcé de multiplier extrêmement les supports ; mais cette double influence du nombre et de la petitesse des supports est en grande partie neutralisée par la section considérable de la barre conductrice.

Il ne s'agit, il est vrai, dans l'application faite sous nos yeux, que d'un tronçon d'une faible longueur ; mais je dirai bientôt (22) pourquoi cette petite longueur, fût-elle une condition *sine quâ non* de la transmission assurée des signaux, ne serait pas, selon moi, une objection.

Il paraît d'ailleurs établi (ce que je n'ai pas eu occasion de constater par moi-même) que la pluie n'affecte pas sensiblement l'efficacité de l'appareil, malgré les inévitables déperditions de courant qu'elle entraîne. On en est quitte pour compenser ces pertes par l'addition d'un élément.

5. Quant à la neige, M. Bonelli affirme, et il semble probable en effet qu'elle est inoffensive. Il suffit qu'elle n'empêche pas l'application des *contacts* mobiles sur la tranche de la barre, et on y pourvoit, quand la voie n'est pas trop encombrée, au moyen d'une sorte de petit soc qui déblaye en avant du châssis. On sait d'ailleurs que la neige n'est pas conductrice tant qu'elle est sèche ; et quand le dégel a lieu, elle cesse par cela même de toucher le conducteur.

En somme, la neige ne paraît devenir un obstacle à l'usage du nouveau télégraphe que quand elle rend la traction elle-même impossible, quand il devient dès lors, dans tous les cas, indispensable de déblayer la voie.

6. Le mode d'installation du conducteur sur le milieu des traverses n'est pas de nature à compliquer notablement l'entretien. Il laisse aux traverses toute la mobilité nécessaire pour le bourrage et le relèvement de la voie ; il permet le remplacement des coussinets et des traverses elles-mêmes ; et si le conducteur exige, pour son compte, quelques soins indispensables, il n'ont rien de trop minutieux et qui ne soit à la portée des garde-lignes et du personnel ordinaire de l'entretien.

7. Reste la malveillance. Il est certain qu'elle a facilement prise sur un appareil, protégé seulement par les faibles clôtures de la voie, possédant lui-même une résistance très-limitée, et qu'on ne pourrait, sans des dépenses assez considérables, constituer assez solidement pour le mettre à l'abri de toute atteinte. — Mais cette considération n'a, après tout, qu'une importance médiocre. On fait le mal par intérêt, on ne le fait guère pour lui-même, par pur instinct de dépravation. Il faut d'ailleurs compter sur une surveillance, toujours indispensable à d'autres égards, et dont le télégraphe profitera. Au reste, le conducteur peut, sans contredit, être accidentellement interrompu ; si ce n'est pas par malveillance, ce sera par accident. Mais tous les appareils en sont là, y compris le télégraphe ordinaire sur poteaux, et personne ne proposerait aujourd'hui de le supprimer, par cela seul que les fils peuvent se mêler ou se rompre.

8. Une autre objection qui se présente naturellement, est tirée de la situation même du conducteur, beaucoup trop exposé, dit-on, à être détruit en cas d'accident, de déraillement, de collision, etc. (*). Il est certain, en effet, que le télégraphe de M. Bonelli est peu propre à servir d'intermédiaire aux demandes de secours. Mais peu

(*) Voyez la note A.

importe qu'il soit exposé à des avaries locales en cas de collision, s'il est propre à prévenir ces terribles accidents.

Là est toute la question de la valeur de l'invention nouvelle, — en admettant que ce moyen de correspondance entre les trains puisse devenir vraiment pratique, ce qui paraît au moins fort probable.

II.

9. Les trains sont lancés sur la même voie à des vitesses normales très-différentes, et soumis de plus à des causes multipliées de dérangement dans leur marche.

Dès que chacun des mécaniciens cesse d'avoir devant lui un horizon assez étendu, les trains, livrés pour ainsi dire à eux-mêmes, seraient en danger imminent de collision si des intermédiaires, — les signaux de la voie, — ne venaient suppléer à l'impuissance où se trouve le personnel du train de constater par lui-même si la voie est libre.

De déplorables exemples ne prouvent que trop l'insuffisance du système de signaux actuellement en usage. Un moment d'oubli, de négligence, de la part d'un agent subalterne, — d'un seul, — et tout l'échafaudage si complet, si méthodiquement construit, des mesures protectrices, peut s'écrouler, — et abandonner les voyageurs à l'aveugle fureur des masses qui les entraînent.

Il serait facile, il est vrai, d'introduire dans le système actuel quelques modifications très-simples et dont l'efficacité paraît certaine; peut-être n'est-il pas inutile de les indiquer.

10. 1° Dès que le mécanicien cesse de voir devant lui à une distance suffisante, il faut, je le répète, qu'il voie par les yeux d'un autre. Si le principe n'est pas contestable, il faut bien accepter sa conséquence immédiate, c'est-à-dire la nécessité de la présence sur les points

dangereux, — présence non pas accidentelle, mais permanente — d'un agent chargé exclusivement de faire le signal d'arrêt dès qu'un train s'est engagé dans la portion qu'il couvre, et de *rouvrir* le disque quand il a acquis la certitude matérielle que le train l'a dépassé d'une distance fixée dans chaque cas par les règlements.

Les garde-lignes ordinaires, nécessairement mobiles dans des limites assez étendues, ne conviennent pas pour cette fonction capitale. Ce qu'il faudrait, ce sont des *agents spéciaux des signaux, couvrant continuellement les points dangereux.* Tout au plus pourrait-on leur assigner, à titre de garde-lignes, un canton d'une étendue très-restreinte.

11. Une fois d'ailleurs le train engagé dans la courbe, le principe général indiqué tout à l'heure peut, sans inconvénient, admettre une exception pendant le parcours de la courbe elle-même; la condition que le mécanicien aperçoive constamment au moins un signal, qu'il voie ainsi indirectement l'état de la voie devant lui, deviendrait alors à la fois onéreuse et inutile. Il faut et il suffit que l'agent placé à l'origine de la section dangereuse, — courbe unique ou série de courbes très-voisines, — ne laisse aucun train s'y engager sans être matériellement certain que la voie est libre dans toute l'étendue de ce parcours.

La distribution des gardiens fixes des points dangereux se ferait très-facilement dans chaque cas sur un plan du chemin de fer, en partant de bases qui varieraient suivant les circonstances de vitesse, de masse des trains, et d'inclinaison du profil. Il est clair d'ailleurs que le même agent pourrait être souvent affecté au service des deux voies; car deux postes voisins, auxquels on serait conduit par l'examen de chaque voie considérée isolément, se confondraient sans inconvénient en un seul;

le même agent aurait alors à manœuvrer deux disques très-rapprochés.

Sans doute, il y aura toujours des accidents sur les chemins de fer. Prétendre les conjurer tous et à coup sûr, serait se bercer d'une chimère, et si quelque chose doit surprendre, c'est que les accidents ne soient pas plus multipliés; mais s'il y a des chances auxquelles on doit se résigner, il en est d'autres auxquelles l'esprit refuse de se soumettre, et ce sont précisément celles qui entraînent les désastres les plus terribles et les plus fréquents. Personne n'accepte comme cas de force majeure des collisions de trains en marche, en dehors des stations, et indépendantes dès lors des causes spéciales de danger inhérentes aux aiguilles. La raison publique repousse l'assimilation qu'on a voulu établir entre ces désastres et les sinistres en mer. L'homme a la conscience de sa force, et aussi celle de sa faiblesse; il sent très-bien que contre les éléments déchaînés il ne peut pas être toujours le plus fort; et là, du moins, il peut encore lutter jusqu'au dernier moment.

Je sais tout ce qu'on peut dire de la négligence, du défaut d'intelligence et d'assiduité du personnel subalterne de la voie; je sais que les gardes de nuit, surtout, sont sujets à caution, qu'ils s'endorment, qu'ils s'absentent souvent de leur poste, en dépit de l'active surveillance des piqueurs, et que le chiffre élevé des amendes témoigne à cet égard d'un défaut de discipline d'autant plus grave qu'il s'agit de l'existence même des voyageurs.

Mais qu'est-ce que cela prouve?

D'abord si le personnel n'inspire qu'une médiocre confiance, raison de plus pour le multiplier; pour suppléer à la qualité par le nombre; et surtout pour rendre bien plus facile et bien plus sûre, par le fait même de

la position rigoureusement déterminée des postes de signaux les plus importants, la surveillance à exercer sur ces agents.

L'objection dont il s'agit trahit d'ailleurs un vice organique d'une gravité réelle. Si la situation faite aux gardes-lignes, et principalement aux gardes de nuit, est trop précaire, si leur service est trop chargé, si ces conditions ne permettent pas de les recruter parmi des sujets offrant les garanties nécessaires, qu'on améliore ces conditions, et qu'on applique aux manquements de service une pénalité moins disproportionnée que de simples amendes, à la gravité du délit.

12. Quelle que puisse être d'ailleurs la vigilance du personnel, l'organisation actuelle n'en est pas moins insuffisante et incomplète dans les circonstances ordinaires (10), et décidément en défaut dans le cas assez fréquent d'un brouillard épais. Les signaux visuels sont alors très-peu perceptibles, et de plus ils se confondent: la lumière blanche passant presque au rouge, la couleur d'arrêt perd sa signification. Lancé ainsi à l'aventure, dans les nuages, le train envierait presque le sort d'un navire voguant au milieu des écueils. Rien de plus pénible que la situation du mécanicien chargé alors de la conduite d'un *express*. Livré à des perplexités continuelles, partagé entre la crainte de rencontrer un train à l'avant s'il soutient sa vitesse (ce que l'état des rails rend souvent fort difficile), et la crainte d'être rencontré à l'arrière s'il ralentit sa marche, il n'a pas même la liberté d'esprit que réclame la conduite proprement dite de la machine.

C'est le brouillard qui fait des mois d'octobre et de novembre une période vraiment critique pour les chemins de fer.

13. Qu'oppose-t-on à cette cause de dangers? de

simples palliatifs : l'usage plus fréquent du sifflet, et les signaux de Cooper.

Je n'entends nullement contester l'utilité des signaux détonnants. Ils rendent des services signalés en Angleterre, où on leur reconnaît une influence marquée sur la rareté des collisions (*). Puisqu'ils ont fait leurs preuves sur la terre classique des brouillards, il sera fort sage d'en tirer parti en France, mais seulement à titre de surcroît de précautions, et pour accumuler les garanties.

Une influence qui paralyse les moyens de sécurité ordinaires doit être combattue par des mesures radicales. Pour mon compte, la sécurité en temps de brouillard ne me semble possible, dans la situation actuelle des choses, qu'à une condition : c'est que chaque train en marche soit couvert par les deux stations entre lesquelles il est compris.

L'application de ce principe n'est pas, autant qu'on pourrait le croire au premier abord, incompatible avec un grand développement du trafic ; les stations sont, en général, d'autant plus rapprochées que le trafic est plus considérable. Sur les chemins de fer aboutissant à Paris, par exemple, leurs distances n'excèdent guère 7 à 8 kilomètres dans toute l'étendue de la grande banlieue, c'est-à-dire sur les sections desservies par les trains les plus multipliés. Avec des distances aussi faibles, il n'y a guère de service, si actif qu'il soit, qu'on ne pût organiser en s'assujettissant à la condition de n'avoir jamais qu'un seul train sur la même voie dans l'intervalle de deux stations. Sur les sections à stations plus clairsemées, le nombre des trains est toujours plus

(*) Voyez : *Railway accidents; Their causes and means of prevention*, by Marck Huish. — Londres, 1852.

restreint. Si d'ailleurs l'organisation du mouvement se pliait difficilement à la règle indiquée, celle-ci (ou toute autre atteignant le but) n'en serait par cela même que plus nécessaire. Au reste, on peut et on doit, en temps de brouillard épais, déblayer les voies en faisant, autant que possible, garer les trains de marchandises. D'un autre côté, quelques-uns des postes de gardiens fixes pourraient être érigés en postes télégraphiques intermédiaires et devenir ainsi, en ce qui touche l'isolement des trains, l'équivalent d'une station ; mesure qui aurait en même temps l'avantage de donner aux stations le moyen de vérifier à tout instant si le gardien est à son poste.

14. Quant à la mise à exécution de la règle proposée, elle serait simple et infaillible. Aujourd'hui, dès qu'un train entre dans une station, le disque est tourné au rouge, et reste dans cette position pendant un temps déterminé, ordinairement dix minutes. Rien ne serait changé, sauf ce dernier point ; le disque resterait au rouge non plus pendant un temps invariable, mais jusqu'à ce que le train eût atteint la station d'*aval*, qui annoncerait électriquement son arrivée (*).

Quelle que fût l'intensité du brouillard, on n'aurait jamais à craindre qu'un train *forçât* le signal fait par une station dans laquelle il n'aurait pas d'arrêt normal. On se mettrait au besoin en garde contre ce risque, comme cela se pratique du reste dès aujourd'hui, en faisant, suivant le principe général, agiter par un homme une lanterne à main, signal qui ne peut rester inaperçu, même dans

(*) Il est clair que ce signal, prescrivant l'*arrêt* dans la station, doit être distinct de celui qui en interdit l'entrée. La défense serait levée par un signal complémentaire, ou par un homme envoyé au-devant du train dès que celui-ci annoncerait sa présence par le sifflet de la machine.

les circonstances atmosphériques les plus défavorables. La correspondance de station à station par le télégraphe à fil, sur laquelle est fondé le principe proposé, serait d'ailleurs si utile à d'autres égards, qu'elle ne tardera certainement pas à être adoptée en tout état de cause.

15. Les trains de marchandises qui viennent s'intercaler, avec leur faible vitesse, au milieu des trains de voyageurs à marche beaucoup plus rapide, sont en outre bien plus sujets que ceux-ci, par suite de la charge presque complète des machines, à éprouver des retards ou des arrêts accidentels en dehors des voies de garage. Ils doivent donc recourir bien plus fréquemment aux signaux, pour se couvrir dans l'intérêt commun. Or, la marche suivie à cet égard est défectueuse à plus d'un titre. La responsabilité et l'initiative des signaux appartiennent, en effet, au chef du train; agent nécessairement placé dans le fourgon de tête, puisqu'il doit correspondre facilement avec le mécanicien, et qui est par cela même dans la situation la plus désavantageuse pour assurer en temps utile l'exécution des signaux. Le point de départ du signal se trouve en effet ainsi à 300, 400 mètres, et même, avec les trains actuels, à 500 mètres en arrière de l'obstacle à couvrir. — Le chef de train est d'ailleurs distrait par d'autres soins, par la tenue de sa feuille de route, et exposé ainsi à perdre de vue ce qui devrait être l'objet incessant de ses préoccupations, c'est-à-dire la relation de position de son train et de celui qui le suit. Ce n'est donc pas du premier wagon, mais du dernier, que devrait partir le signal en cas de détresse ou de ralentissement. Dans le wagon de queue devrait être placé un agent *ad hoc*, chargé de faire le signal sous sa responsabilité, tout en se conformant, dans le cas où il n'aurait pas pris l'initiative de lui-même, aux ordres que lui donnerait dans

ce sens le chef du train. Le graisseur, dont cet agent serait assisté, serait à sa disposition pour l'exécution immédiate des signaux, et descendrait facilement sur la voie en cas de ralentissement dangereux du train.

16. Ces observations, que je n'ai pas à développer plus longuement ici, aboutiraient à un certain surcroît de dépenses d'exploitation, mais dans des limites assurément fort admissibles. L'établissement de gardiens à poste fixe (10), pour lesquels une installation matérielle serait nécessaire, surtout si on leur confiait un poste télégraphique (*) ne grèverait que légèrement le budget de nos principales lignes, sur lesquelles dominent heureusement les longs alignements droits. — La communication télégraphique de station à station n'entraînerait que des dépenses presque insignifiantes. Enfin, on ne saurait, à coup sûr, taxer d'exagération l'addition d'un homme au personnel si restreint (trop restreint même sous d'autres rapports) des énormes trains de marchandises qui circulent aujourd'hui sur plusieurs chemins de fer. — A n'envisager que le côté économique de la question, combien de millions les compagnies n'ont-elles pas consacrés à remplacer le matériel détruit par les collisions, et surtout à indemniser (avec une spontanéité aussi louable d'ailleurs que bien entendue) les victimes ou leurs familles? — D'ailleurs, ce n'est pas à des considérations de cette nature qu'on peut s'arrêter aujourd'hui. Tout le monde veut la sécurité, dans les limites du possible; administration, public, compagnies, tout le monde la veut, coûte que coûte.

17. Il y a, dans les magnifiques progrès réalisés sur les chemins de fer, un fait frappant : c'est que ces progrès n'ont pas marché parallèlement. Les éléments pu-

(*) Voir la note B.

rement mécaniques de cette grande industrie ont été portés à un degré de perfection relative que n'atteint pas encore l'art de les mettre en œuvre, c'est-à-dire l'exploitation proprement dite. — C'est un fait que j'énonce, ce n'est pas une critique; les efforts et l'intelligence n'ont pas plus fait défaut à une branche qu'à l'autre; mais la première n'avait qu'à emprunter à la mécanique industrielle et à s'approprier, en les perfectionnant, les fruits d'une longue expérience. Dans la seconde, tout était à créer. On a beaucoup fait, mais il reste encore beaucoup à faire; le but à atteindre maintenant est de sortir d'une situation telle que la négligence d'un seul des nombreux agents qui concourent à la surveillance, puisse causer un désastre.

C'est là qu'est le mal. L'opinion a cru à tort le trouver ailleurs. Elle s'étonne, après un accident, de voir la justice ne frapper souvent que quelques agents subalternes. Il est cependant dans la nature des choses que les coupables se trouvent seulement parmi les instruments immédiats de l'exploitation. Les ingénieurs, les agents supérieurs doivent au public une organisation du service aussi bonne que possible, un personnel exercé, nne active surveillance. Ils encourent d'ailleurs, dans tous les cas, la responsabilité civile qui ne les atteint, il est vrai, qu'en apparence; mais faire remonter nécessairement jusqu'à eux la responsabilité personnelle serait à la fois une injustice et un fort mauvais calcul. Un tel système n'aboutirait qu'à faire déserter, par les hommes les plus capables, un poste devenu intolérable, puisqu'un dévouement absolu aux devoirs qu'il impose ne suffirait plus pour protéger leur liberté constamment menacée. Ce n'est pas à une violation des principes fondamentaux de la responsabilité qu'il faut demander des garanties nouvelles, mais à un système de mesures

protectrices assez complet pour qu'elles puissent, au besoin, se suppléer mutuellement, et qu'une collision, notamment, ne puisse pas avoir lieu sans le concours de plusieurs culpabilités.

Rien ne serait donc moins fondé que l'indifférence systématique à l'égard des principes nouveaux. On ne doit les rejeter qu'après avoir discuté non-seulement les avantages souvent fort exagérés que leur attribue l'optimisme tout naturel de leurs auteurs, mais aussi les applications plus restreintes auxquelles ils paraissent se prêter.

III.

18. Dans les idées de M. Bonelli, son télégraphe devrait être établi sur toute l'étendue de la voie; il l'envisage non-seulement au point de vue de la correspondance des trains, soit entre eux, soit avec les stations, mais comme pouvant aussi suppléer le télégraphe ordinaire. Il suffirait que le support en porcelaine eût plusieurs rainures et reçut autant de barres, remplaçant les fils. La barre affectée à la correspondance spéciale des trains s'élèverait au-dessus des autres, et serait seule atteinte par l'armature fixée au wagon. La faculté de communication des trains entre eux serait utilisée suivant des règles que l'auteur ne s'est pas attaché à formuler d'une manière précise : lacune regrettable, car la première condition en pareille matière est d'offrir à la discussion une base nettement définie. Il ne suffit pas que la possibilité de tirer parti d'une idée nouvelle soit probable ou même évidente; il faut aussi caractériser dans tous ses détails la nature et les limites de son application, la suivre dans toutes ses conséquences.

19. Voici comment je concevrais cette application :

D'abord, l'établissement du télégraphe de M. Bo-

nelli, même à toute la longueur d'un chemin de fer, ne justifierait nullement la suppression des fils de la voie. Ceux-ci conviennent parfaitement pour la correspondance ordinaire et pour les demandes de secours des trains en détresse; tandis que le premier échapperait difficilement, en cas d'accidents, à des avaries plus ou moins graves. Ces avaries seraient seulement locales, il est vrai, et le danger le plus sérieux, celui d'un dérangement de l'appareil d'envoi, est indépendant de la disposition du conducteur. Mais ce n'est pas une raison pour placer de gaieté de cœur celui-ci dans les conditions les plus défavorables, sous le double rapport de l'isolement et des chances de rupture.

D'un autre côté, on ne voit pas d'intérêt bien réel à ce que les trains puissent, partout et toujours, échanger des correspondances soit entre eux, soit avec les stations (*). Cette faculté établie, quel usage en fera-t-on? Quand les trains devront-ils se parler, et que se diront-ils? Si deux ou trois trains cheminent sur la même voie entre deux stations, tous, trains et stations, seront dans la confidence de chaque dépêche qui cependant n'intéresse que deux d'entre eux. Comment préviendra-t-on à coup sûr la confusion à peu près inséparable de cette communauté, les dangers qu'elle peut faire naître? Ajoutons que l'envoi (ou la réception) d'une dépêche est nécessairement interrompu à l'instant où le wagon qui porte l'appareil franchit un passage à niveau ou un croisement (**) : de là encore une cause de confusion et d'erreur.

20. Mais la faculté, pour deux trains qui se suivent à un faible intervalle, d'échanger à coup sûr des com-

(*) Voyez la note C.

(**) La discontinuité de la barre conductrice est rachetée par un fil souterrain; mais les *contacts* ne portent plus.

munications entre eux, acquerrait au contraire une incontestable valeur dans un cas parfaitement caractérisé : celui où le second ne peut voir le premier; puisqu'elle leur donnerait un moyen infaillible de constater mutuellement leur présence.

La condition rigoureuse de la sécurité sur les chemins de fer est *qu'un train laisse derrière lui un signe évident de son passage; signe qui doit le suivre à une certaine distance, assez grande pour prévenir tout danger de collision, assez limitée pour ne pas dérégler inutilement le service.*

L'accomplissement de cette condition est aujourd'hui le principal *desideratum* de l'exploitation. Tous les appareils automatiques, fondés sur l'action, purement mécanique et sans contrôle, des trains, ont été repoussés avec raison comme des auxiliaires suspects; tutélaires quand ils fonctionnent, mais désastreux quand ils sont en défaut, à cause de la trompeuse sécurité qu'inspirerait invinciblement une fausse indication (*).

21. On pourrait, sans doute, stipuler que les indications des appareils de ce genre seront réputées exactes quand elles prescriront l'arrêt, et que le signal sera regardé comme non avenu dans la position inverse, *le mécanicien devant alors marcher avec la même prudence que s'il n'y avait aucun signal.* Mais il y a de ces abstractions qu'il ne suffit pas d'inscrire dans un règlement pour les faire accepter; et on n'obtiendrait pas d'un mécanicien qu'il s'en rapportât au signal dans un cas, et n'en tînt aucun compte dans l'autre.

22. Le télégraphe Bonelli, dont l'utilité n'a été formulée à ma connaissance, qu'en termes très-vagues,

(*) Voyez *Des mesures propres à prévenir les collisions sur les chemins de fer*, par M. Couche.— Paris, 1853, V^or^ Dalmont.

renferme une solution au moins très-digne d'examen de ce grand problème : — la sécurité des parcours en courbe. C'est donc aux sections dangereuses seulement qu'il me paraît susceptible d'être appliqué, mais alors avec un caractère frappant d'utilité.

Chaque courbe serait munie de la barre conductrice, qui se prolongerait de part et d'autre, suivant les tangentes, à une distance égale à *l'horizon de sécurité*, c'est-à-dire à 800, 1.000 ou 1.200 mètres, suivant les éléments propres à chaque cas.

Deux ou plusieurs courbes rapprochées seraient naturellement, dès lors, réunies par un conducteur continu, et formeraient ainsi un seul et même système *sur lequel deux trains ne devraient jamais être engagés en même temps sans que le second le sût immédiatement et agît en conséquence, c'est-à-dire ralentît ou arrêtât en se couvrant.*

Le train se trouvant, dès l'instant où il cesserait de voir devant lui à la distance réglementaire, en contact avec le conducteur, et par suite en communication avec tout autre train entré avant lui et encore engagé dans la section dangereuse, serait dès lors à même de constater à coup sûr sa présence. Il suffirait pour cela que tout chef de train ou son suppléant (et tout mécanicien de machine isolée) se conformât rigoureusement à cette simple obligation : faire parler presque constamment son appareil pendant toute la durée du parcours de la section, dont les limites seraient indiquées par des signaux permanents rappelant cette obligation. — Tout train suivant serait ainsi infailliblement averti, sans que le signal pût passer inaperçu, l'observation permanente de l'appareil étant la condition fondamentale. — Un train ayant parcouru quelques centaines de mètres du conducteur, sans recevoir de réponse, n'en

continuerait pas moins à *parler*, en vue non de ce qui le précède, mais de ce qui peut le suivre.

Ce mode d'application suppose qu'aucune dépêche émanée des stations ne peut se mêler à la correspondance des trains. Il faut donc que la barre conductrice *soit complétement isolée.*

Cet isolement serait d'ailleurs, par lui-même, une garantie.

La présence simultanée de deux trains sur le même tronçon conducteur serait en effet alors la condition *sine quâ non* de la fermeture du circuit, pourvu que l'appareil à signaux fût convenablement isolé ; de sorte que, en l'absence même de toute réponse, le seul fait du passage du courant serait, pour le train qui le constaterait, la preuve certaine de la présence d'un autre train.

Telle est la forme sous laquelle l'application de l'ingénieuse idée de M. Bonelli me paraît devoir être étudiée. Elle pourrait d'ailleurs se combiner avec les mesures proposées plus haut (10), et remplir ainsi la condition tout à fait impérieuse de l'accumulation des garanties (17).

Est-ce à dire que cette forme ne soulève aucune objection ? Non, sans doute. Mais peut-être celles qu'il est facile d'élever seraient-elles faciles aussi à détruire dans la pratique. Cette application offre-t-elle à la sauvegarde des trains des chances réelles ? Mérite-t-elle à ce titre d'être mise à l'essai ? Telle est la question à laquelle ce qui précède répond peut-être suffisamment.

M. Bonelli a pu, grâce à sa position de directeur général des télégraphes sardes, surmonter dans son pays les obstacles que rencontre presque toujours l'application d'une idée nouvelle. Son système, dit-on, sera bientôt mis à exécution sur toute l'étendue des chemins sardes. L'utilité de cette application générale n'est rien

moins qu'évidente ; il est même douteux qu'il soit dans l'intérêt du système d'accumuler ainsi les difficultés, les chances de confusion, au lieu de suivre l'ordre d'idées dans lequel le succès est à la fois plus probable et d'une utilité plus évidente. Il est vrai que l'application à toute la longueur d'un chemin serait justifiée au point de vue du brouillard ; car toutes les sections deviennent alors également dangereuses, indépendamment du tracé. Mais à un mal accidentel, on peut opposer un remède temporaire comme lui (15). — Quelles que soient donc les chances de succès de l'expérience qui doit être faite en Piémont sur une grande échelle, il conviendrait de s'attacher en France à l'étude de la question au point de vue qui domine incontestablement tous les autres : — celui des garanties contre les collisions.

NOTES.

Note A (n° 8).

Il n'est pas impossible que la barre soit rompue par la chute d'un objet tombé d'un train. Mais cet accident est en lui-même si rare, et, en l'admettant, il y a tant de chances pour que la barre ne soit pas atteinte, — et pour qu'elle ne soit pas brisée si elle est atteinte, que le danger en question paraît être à bien peu près négligeable. Une chaîne d'attelage laissée pendante, et dont le crochet saisissait le conducteur, lui causerait de graves avaries ; mais la brièveté même des tronçons rend les accidents de ce genre au moins fort peu probables.

Note B (n° 16).

Quand il ne s'agit que de recevoir et d'expédier un simple signal conventionnel, toujours le même, le télégraphe électrique est à la portée de tout le monde. C'est, dans ces limites, un

instrument parfaitement sûr, à condition d'être manié, non pas une fois par hasard en cas d'accident, mais chaque jour, à toute heure. Une fois entré dans la pratique de tous les instants, il aurait bientôt dissipé les défiances dont il est encore l'objet aujourd'hui. Il importe, en effet, de remarquer que les chances de perturbations dues aux influences atmosphériques, si souvent mises en avant, décroissent très-rapidement avec la longueur, et deviennent presque nulles pour les petites distances interstationnaires : c'est aujourd'hui un fait d'expérience parfaitement établi. Rien ne prouve mieux, d'ailleurs, l'importance du rôle que la télégraphie électrique est appelée à jouer dans l'exploitation, que la rapidité avec laquelle ses applications se sont étendues en Allemagne.

L'organisation indiquée (16) conduirait peut-être, dans un autre ordre d'idées, à des améliorations fort importantes. Les fonctions des garde-lignes sont non-seulement assujettissantes et ingrates toujours, pénibles souvent, mais elles ont de plus un inconvénient très-grave, surtout en France, c'est d'exclure à peu près complétement toute prétention à une position plus avantageuse. La création de gardiens fixes, chargés d'un poste télégraphique, établirait dans le personnel de gardiennage une catégorie d'emplois moins pénibles, et que releveraient le sentiment de leur importance spéciale, l'intelligence moins bornée qu'ils exigeraient, et un salaire en rapport avec ces conditions. L'émulation serait excitée, le recrutement facilité, et l'ensemble du service s'en ressentirait.

Note C (n° 19).

La communication des trains en marche avec les stations a été réalisée déjà il y a plusieurs années ; seulement, elle était périodique et automatique, au lieu d'être possible à tout instant comme dans le système Bonnelli. Elle a fonctionné pendant plusieurs mois au chemin atmosphérique de Saint-Germain, sur lequel le passage qui a lieu successivement, en chaque point du tube pneumatique, de la pression intérieure à la pression atmosphérique, offrait un moyen simple d'interrompre et de rétablir, de distance en distance, un courant constant. L'application dont il s'agit était d'autant plus motivée que c'est alors de la station vers laquelle il chemine que part

la direction du train, et que le mécanicien de la machine fixe peut ainsi suivre tous ses mouvements.

Depuis, M. Tyer a imaginé et appliqué en Angleterre une disposition qui résout assez bien le problème par les trains remorqués par des locomotives. Elle est fondée sur la fermeture d'un circuit par la flexion qu'éprouvent les rails au passage des véhicules, et surtout des locomotives (*). Au reste, il est difficile de voir dans cette faculté de correspondance entre les stations et les trains, quels que soient les détails d'exécution, une garantie bien sérieuse. On peut, sans doute, concevoir quelques circonstances dans lesquelles il serait possible d'en tirer parti; par exemple, la station avertie qu'un train déjà expédié est retardé ou arrêté, retiendrait le train suivant. Mais il faut toujours en venir, en définitive, à la considération *de deux ou plusieurs trains lancés en même temps entre deux stations*, et soumis à toutes les chances qui affectent leur marche; et il faut bien dès lors que ces trains suffisent, par eux-mêmes et par les signaux de la voie, à assurer leur sécurité mutuelle, sans la participation des stations, à moins de partir du principe indiqué plus haut (10). Mais alors un train ne devant être expédié que quand le train précédent a atteint la station d'*aval*, l'avis expédié directement par celle-ci, au moyen du télégraphe ordinaire, est à la fois bien plus simple et au moins aussi sûr que les indications données successivement par le train lui-même. La correspondance des trains avec la station n'introduit donc pas d'éléments de sûreté bien réels. Il en serait tout autrement d'une correspondance infaillible des trains entre eux.

On a proposé dans ce but diverses dispositions fondées, comme le système Bonelli, sur l'emploi des courants électriques; mais leur moindre inconvénient est une extrême complication, et toutes sont restées à l'état de projet. On peut citer, comme une des plus ingénieuses, la combinaison imaginée par M. Achard, et décrite dans le journal l'*Ingénieur*, année 1855, p. 545.

(*) Voyez les *Rapports du Jury de l'exposition universelle de 1855. V^e classe.*

BULLETIN.

PREMIER SEMESTRE 1855.

Sur l'importation et l'exportation du fer, ainsi que du charbon minéral, dans le Royaume-Uni pendant les années 1853 et 1854.

Fer.

Un document officiel, publié par ordre de la chambre des communes, donne le relevé des importations et des exportations du fer dans le Royaume-Uni pendant les années 1853 et 1854.

Ce document, qui paraît tous les deux ans, se compose de huit tableaux contenant des renseignements statistiques précieux sur le commerce du fer entre le Royaume-Uni et toutes les nations du monde. Nous allons reproduire une partie de ces tableaux, comme nous avons publié déjà ceux relatifs à l'année 1852 (1).

Les tableaux n^os I, II, III et IV, qu'on trouvera à la fin de cette notice (p. 590, 591, 592 et 593), font connaître avec détail quelles sont les quantités de fer étranger qui ont été importées ou réexportées par l'Angleterre en 1853 et en 1854.

Il est facile de voir d'après ces tableaux que, de tous les produits fabriqués à l'étranger, le fer en barres est le seul qui trouve quelque débouché dans la Grande-Bretagne. Le marché anglais en a reçu en 1854, 41.745 tonnes y compris 4.341 destinées à la réexportation. Relativement à 1853, c'est une différence en moins de 6,030 tonnes, causée principalement par la diminution forcée des envois de la Russie, qui s'élevaient à 5.179 tonnes en 1853. On sait, en effet que c'est, après la Suède, l'Empire Russe qui fournit à l'Angleterre la plus grande partie des fers aciéreux qu'elle emploie.

Quant aux aciers bruts étrangers, ils n'entrent que pour une proportion insignifiante dans la consommation intérieure, à

(1) Voir *Annales des mines*, 5e série, t. V, p. 621.

en juger par le faible excédant des importations sur les réexportations (191 tonnes en 1853, et 69 tonnes en 1854).

—Voyons maintenant quelles ont été pendant les années 1853 et 1854 les quantités de fer anglais exportées du Royaume-Uni.

Les tableaux nos V et VII donnent le nombre de tonnes de fer, de fonte brute et d'un travail ordinaire, ainsi que d'acier brut qui ont été produites en Angleterre et exportées en 1853 ou en 1854.

Les tableaux nos VI et VIII donnent le poids en tonnes avec la valeur en livres sterling pour la quincaillerie et la coutellerie anglaise, qui ont été exportées en 1853 et 1854. (*Voir* les tableaux V et VII, VI et VIII.)

Comme on le voit par les tableaux qui précèdent, il a été expédié en 1854, 64,609 tonnes, soit 5 p. 100 de moins qu'en 1853. La diminution sur la fonte brute ou en gueuse et les fers en barres qui est assez considérable, est en grande partie compensée par le progrès qu'offrent la fonte moulée ainsi que les fers étirés et ouvrés.

Les États-Unis, à eux seuls, ont pris en moins 72,362 tonnes de fer en barre et 44,374 tonnes de fonte brute en 1854. Ce qui atténue l'importance de ce déficit et peut faire douter qu'il ait été produit par un ralentissement du travail industriel dans les États de l'Union, c'est que les envois pour cette destination avaient atteint en 1852 un chiffre exceptionnellement élevé : en 1854, ils sont donc redescendus seulement à leur niveau ordinaire; ils forment encore, dans les limites actuelles, les 0,45 des exportations totales de l'Angleterre.

Les demandes pour la France sont au contraire en progrès. Ce résultat est dû naturellement aux dispositions libérales du décret du 22 novembre 1853. Comme le démontrent les chiffres des tableaux V et VII, l'exportation de la fonte brute, des fers en barres et des aciers non travaillés, s'est accrue respectivement de 1.682 tonnes, 5.782 tonnes et 275 tonnes sous l'influence du tarif.

On remarque également pour nôtre pays une augmentation de 566 tonnes sur les articles désignés dans le document anglais, sous le nom de *Wrought Iron*, et comprenant les ancres et grappins, les cercles, la clouterie et les autres articles en fer travaillé, à l'exclusion toutefois de la quincaillerie et de la coutellerie qui forment une catégorie distincte présentée par les tableaux VI et VIII.

Les quantités totales de ces dernières marchandises exportées d'Angleterre pendant les deux dernières années sont à peu près les mêmes : un fait digne de remarque, c'est que malgré une réduction de 321 tonnes dans les expéditions, les valeurs déclarées en 1854 présentent un excédant sur celles de 1853. Cette différence en raison inverse doit s'expliquer par le renchérissement de la matière première.

On peut citer les États-Unis, la Chine, les colonies anglaises de l'Amérique du Nord, le Brésil, les Indes occidentales (non compris les possessions anglaises), les Indes orientales (territoire britannique), Buénos-Ayres, les Villes Anséatiques comme étant les principaux pays de consommation.

Charbon minéral.

— Si nous passons maintenant au charbon minéral qui, de même que le fer, donne lieu à un commerce si important pour le Royaume-Uni, nous trouvons d'abord que la quantité importée est nulle; nous n'avons donc à nous occuper que de la quantité exportée.

Les deux tableaux IX et X font connaître, pour les années 1853 et 1854, les quantités de charbon minéral exportées des différents ports de l'Angleterre; ils donnent en outre les pays auxquels ce charbon était destiné (voir les tableaux IX et X, p. 600 et suiv.)

En 1854, la quantité de charbon minéral exportée du Royaume-Uni dans les colonies anglaises et dans les pays étrangers s'élève à 4.309.255 tonnes. Elle représente une somme de 2.127.156 livres sterling.

En 1853, la quantité de charbon exportée était seulement de 3,935,062 tonnes représentant une somme de 1,604,591 livres sterling.

Tous les droits de douane qui grevaient le charbon minéral à la sortie ont d'ailleurs été abolis par acte du parlement, en date du 14 août 1850.

La quantité de combustible minéral introduite dans le port de Londres seul est énorme; elle s'élève en effet à 4.026.985 tonnes en 1853, et à 4.3787.32 tonnes en 1854. La plus grande partie de ce combustible minéral est transportée par le cabotage; il n'y en a pas un quart qui soit transportée par la navigation intérieure et par les voies de terre.

(*Extrait de rapports adressés à M. le ministre des affaires étrangères par* M. HERBET, *consul général à Londres.*) D.

FER ÉTRANGER IMPORTÉ ET EXPORTÉ PAR L'ANGLETERRE PENDANT LES ANNÉES 1853 ET 1854.

TABLEAU N° I. — *Fer étranger importé en Angleterre en 1853.*

CONTRÉES desquelles il est importé.	MINERAI de fer.	FER CHROMÉ.	FONTE en gueuses.	FER en barres et non travaillé.	FIL DE FER entré depuis le 1er juin.	FONTE brute entrée depuis le 1er juin
	tonn. c. q. lbs.	tonnes. c. q. lbs.	tonnes. c. q. lbs.	tonnes. c. q. lbs.	cwt. q. lbs.	c. q lbs.
Russie	»	823 0 0 14	17 0 0 0	5.079 1 2 3	»	»
Suède	»	»	3 0 0 0	41.910 7 1 15	»	»
Norwége	»	523 13 2 0	»	586 4 2 4	»	»
Danemark	»	14 9 0 0	»	120 0 0 0	»	»
Prusse	»	»	»	»	»	»
Villes anséatiques	0 0 1 20	»	20 19 0 0	28 10 0 0	1 0 19	18 0 0
Hollande	0 0 2 0	»	3 3 1 11	2 4 0 0	1.301 2 16	»
Belgique	0 1 0 0	»	»	»	3 3 0	10 0 0
Iles du Canal	»	»	»	»	»	»
France	»	»	130 0 0 0	2 0 0 0	31 0 7	0 0 19
Portugal	6 0 3 20	»	»	6 0 0 0	»	»
Espagne	»	»	»	16 2 1 7	»	»
Italie	»	0 2 2 0	»	1 0 0 0	»	»
Turquie	2 3 3 18	785 12 2 3	»	»	»	»
Syrie et Palestine	»	»	»	15 0 0 0	»	»
Egypte	»	»	»	»	»	»
Colonies anglaises du sud de l'Afrique	»	»	»	»	»	»
Colonies angl. dans les Indes orientales	»	»	330 16 2 27	»	»	»
Chine (comprenant Hong-Kong)	»	»	696 5 1 15	»	»	»
Colonies anglaises en Australie	0 1 3 3	»	30 7 1 0	8 0 0 0	»	»
Colonies anglaises du nord de l'Amérique	2 4 0 0	»	37 5 3 0	0 4 2 0	»	0 1 19
Indes occidentales et Guyane anglaise	»	»	»	»	»	»
Indes occidentales étrangères et Cuba	»	»	»	»	»	»
Etats-Unis	1 0 1 26	440 7 2 4	3 19 1 13	0 16 1 24	3.877 0 10	»
Pays divers	»	0 4 1 9	59 0 0 0	»	»	»
Quantités totales importées	11 15 0 3	2.387 9 2 2	1,331 16 3 10	47.775 10 2 25	5.214 2 24	28 2 10

TABLEAU N° II. — *Fer étranger réexporté par l'Angleterre en 1853.*

CONTRÉES dans lesquelles il est exporté.						
Villes anséatiques	»	»	»	65 0 0 0	»	»
Hollande	»	»	»	50 2 3 2	»	»
Belgique	»	»	»	6 0 0 0	»	»
France	10 0 0 0	»	»	217 7 0 0	»	»
Portugal et Açores	»	»	»	»	»	»
Espagne et Canaries	»	»	»	9 19 0 0	»	»
Gibraltar	»	»	»	67 14 3 0	»	»
Italie	»	»	»	33 17 3 0	»	»
Iles Ioniennes	»	»	»	43 0 0 0	»	»
Turquie	»	»	»	14 0 0 0	»	»
Egypte	»	»	»	255 0 0 0	»	»
Maroc	»	»	»	124 14 1 0	»	»
Côtes occidentales de l'Afrique	»	»	»	32 12 1 0	»	»
Possessions anglaises du sud de l'Afrique	»	»	»	60 14 1 0	»	»
Maurice	»	»	»	0 8 0 0	»	»
Possessions angl. des Indes orientales	»	»	»	1.760 2 2 25	»	»
Java	»	»	»	100 0 0 0	»	»
Chine	»	»	»	»	»	»
Etablissements anglais de l'Australie	»	»	»	»	»	»
Colonies anglaises de l'Amérique du nord	»	»	»	578 4 3 21	»	»
Indes occidentales et Guyane anglaise	»	»	»	56 0 0 0	»	»
Indes occidentales étrangères et Cuba	»	»	»	15 0 0 0	»	»
Etats-Unis	»	»	50 0 0 0	1.901 7 1 3	»	»
Mexique	»	»	»	16 0 0 0	»	»
Nouvelle-Grenade	»	»	»	39 5 0 0	»	»
Brésil	»	»	»	8 5 0 0	0 0 19	»
République orientale de l'Uruguay	»	»	»	»	»	»
Pays divers	»	»	»	3 0 0 0	»	»
Quantités totales exportées	10 0 0 0	»	50 0 0 0	5.457 14 3 23	0 0 19	»

L'ANGLETERRE PENDANT LES ANNÉES 1853 ET 1854.

importé en Angleterre en 1853.

FER FIN.	FER fendu ou martelé.	DÉBRIS de vieille fonte.	CERCLES de fer.	FONTE.	ACIER BRUT.	ACIER en massiaux.	FER et acier façonnés entrés depuis le 4 juin.	FER ET ACIER TRAVAILLÉS entrés depuis le 4 juin.	
								Fers et aciers manufacturés (machines, instrumens, coutellerie).	Objets d'ornement et de fantaisie en fer et en acier.
tonnes. c. q. lbs.	t. c. q. lbs.	ton. c. q. lbs.	t. c. q. lbs.	t. c. q. lbs.	tonnes. c. q. lbs.	ton. c. q. lbs.	liv. steri. s. d.	cwt. q. lbs.	cwt. q. lbs.
38 10 0 0	»	16 8 0 0	»	0 5 0 0	»	»	»	3 1 19	0 0 2
614 7 0 12	»	20 2 0 0	0 2 0 0	»	1.281 1 2 16	16 2 3 21	5 0 0	61 2 5	»
460 4 0 13	»	4 8 0 0	»	»	»	»	3 13 0	1 2 0	»
»	»	0 3 2 0	»	»	10 0 0 0	»	11 10 0	2.139 3 16	»
»	»	2 15 0 14	»	»	»	»	11 16 6	»	0 0 22
»	»	89 11 0 0	»	»	17 5 0 0	18 15 0 0	387 10 8	173 3 10	5 1 25
»	»	8 9 2 16	»	0 3 0 0	4 6 1 14	»	2.168 19 0	1.323 3 21	31 1 5
»	»	»	»	»	27 12 2 0	4 15 0 0	2.081 15 0	910 2 16	29 0 13
»	»	»	»	»	»	»	306 12 0	18 1 19	0 0 5
»	»	»	»	»	»	43 14 1 24	7.466 0 0	1.434 3 27	759 1 11
»	»	5 2 0 0	»	»	6 6 3 25	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	0 0 8	»
»	»	5 5 1 19	»	0 1 2 0	13 3 0 9	»	14 0 0	12 1 25	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	80 18 0	»	»
»	»	4 10 0 0	»	»	»	»	»	»	»
»	»	0 0 2 24	»	»	»	0 11 0 0	65 0 0	0 1 0	»
»	»	149 3 0 0	»	24 16 1 0	»	»	4 0 0	0 3 7	8 0 0
»	»	4 0 0 0	»	»	»	»	0 10 0	»	»
»	»	100 12 0 13	0 16 2 14	0 8 0 0	»	»	»	2 3 12	»
»	»	5 17 3 15	»	»	»	»	1 0 0	42 0 2	»
»	»	12 14 3 17	4 17 2 20	0 10 0 0	»	»	0 2 0	14 0 2	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	9 6 0 0	»	»	»	»	»	251 0 3	1.503 3 2	0 3 0
»	»	7 10 0 0	»	200 5 2 0	2 7 0 0	147 15 3 0	34 5 0	155 1 9	»
»	»	13 5 0 20	»	»	»	»	»	»	»
1.113 1 0 25	9 6 0 0	459 18 1 25	5 16 1 6	226 4 1 0	1.362 2 2 8	231 14 0 17	12.893 11 5	7.799 3 4	834 0 27

réexporté par l'Angleterre en 1853.

»	»	»	»	»	0 0 3 20	»	»	11 2 3	»
»	»	»	»	»	2 10 0 0	»	100 0 0	»	»
»	»	»	»	»	»	»	300 0 0	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	6 0 4	5 0 1
»	»	»	»	»	61 0 0 0	»	10 0 0	0 1 20	»
»	»	»	»	»	13 14 2 18	»	»	17 1 10	»
»	»	»	»	»	2 10 0 0	»	»	6 1 8	»
»	»	»	»	»	14 14 0 0	»	»	128 0 0	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	3 0 0 0	»	»	550 0 0	»
»	»	»	»	»	»	»	5 10 0	0 0 9	»
»	»	»	»	»	12 0 0 0	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	20 0 0	190 3 22	»
»	»	»	»	»	»	»	105 0 0	4 0 0	»
»	»	»	»	»	»	»	80 0 0	61 1 11	»
»	»	»	»	»	945 10 1 2	»	1.478 0 0	133 1 4	»
»	»	»	»	»	10 0 0 0	»	»	»	»
»	»	»	»	»	15 13 0 0	»	47 0 0	0 1 23	»
»	»	»	»	»	»	»	418 10 0	440 1 19	12 2 20
»	»	»	»	»	5 10 0 0	»	30 0 0	13 2 8	0 3 3
»	»	»	»	»	»	»	»	99 3 9	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	73 11 2 19	»	79 0 0	114 2 15	»
»	»	»	»	»	»	»	»	19 3 20	»
»	»	»	»	»	5 9 0 0	»	350 0 0	»	»
»	»	»	»	»	»	»	200 17 0	58 1 4	»
»	»	»	»	»	»	»	100 0 0	»	»
»	»	»	»	»	6 5 0 0	»	298 0 0	23 1 22	1 2 15
»	»	»	»	»	1.171 8 2 3	»	3.631 17 0	1.879 3 12	20 0 11

TABLEAU N° III. — *Fer étranger importé en Angleterre en 1854.*

CONTRÉES desquelles il est importé.	MINERAI de fer.	FER CHROMÉ.	FONTE en gueuses.	FER en barres et non travaillé.	FIL de fer.	FONTE brute.
	tonn. c. q. lbs.	tonnes. c. q. lbs.	tonnes. c. q. lbs.	tonnes. c. q. lbs.	cwt. q. lbs.	c. q. lbs.
Russie	»	»	»	105 0 0 0	»	»
Suède	»	»	»	40.891 0 0 0	1 0 0	»
Norwége	»	11 17 0 0	»	569 0 0 0	»	»
Danemark	»	»	»	»	»	»
Prusse	»	»	»	»	»	»
Villes anséatiques	»	»	»	48 0 0 0	3 1 0	10 0 0
Hollande	0 4 0 0	»	4 0 0 0	10 0 0 0	11 1 7	»
Belgique	»	»	»	89 0 0 0	47 0 0	»
Iles du Canal	»	»	»	»	»	»
France	»	28 5 2 10	»	2 0 0 0	1 1 7	28 1 0
Portugal	»	»	»	»	»	»
Espagne	0 3 3 16	»	»	11 0 0 0	»	»
Italie	343 13 0 14	»	»	6 0 0 0	1 2 4	»
Malte	»	141 14 3 2	»	»	»	»
Turquie	»	1,512 7 0 20	»	»	»	»
Syrie et Palestine	»	»	»	3 0 0 0	»	»
Colonies anglaises du sud de l'Afrique	»	»	»	»	»	»
Colonies anglaises des Indes orientales	0 12 2 27	»	224 10 0 0	»	»	»
Chine (comprenant Hong Kong)	»	»	54 0 0 0	»	»	»
Colonies anglaises de l'Australie	»	»	»	»	»	»
Colonies anglaises de l'Amérique du nord	0 6 0 0	»	556 3 3 13	11 0 0 0	»	0 1 12
Indes occidentales anglaises et Guyane	»	»	»	»	»	»
Etats-Unis	6 16 3 16	970 12 1 19	60 0 0 0	»	»	0 3 17
Brésil	»	»	»	»	»	»
Pays divers	»	»	»	»	»	»
Quantités totales importées	351 16 2 17	2.670 16 3 23	898 13 3 13	41.745 0 0 0	70 1 18	39 2 1

TABLEAU N° IV. — *Fer étranger réexporté par l'Angleterre en 1854.*

CONTRÉES dans lesquelles il est exporté.						
Suède	»	»	»	»	»	»
France	»	27 0 0 0	»	99 0 0 0	»	»
Portugal et Açores	»	»	»	2 0 0 0	»	»
Espagne et Canaries	»	»	»	13 0 0 0	»	»
Italie	»	»	»	32 0 0 0	»	»
Turquie	»	»	»	98 0 0 0	»	»
Egypte	»	»	»	»	»	»
Maroc	»	»	»	142 0 0 0	»	»
Côte occidentale de l'Afrique	»	»	»	53 0 0 0	»	»
Maurice	»	»	»	»	»	»
Colonies anglaises des Indes orientales	»	»	»	1.566 0 0 0	»	»
Java	»	»	»	70 0 0 0	»	»
Iles Philippines	»	»	»	4 0 0 0	»	»
Etablissements anglais de l'Australie	»	»	»	»	»	»
Colonies anglaises du nord de l'Amérique	»	»	»	39 0 0 0	»	»
Indes occidentales anglaises et Guyane	»	»	»	»	»	»
Etats-Unis	»	»	»	2.177 0 0 0	»	»
Nouvelle-Grenade	»	»	»	5 0 0 0	»	»
Venezuela	»	»	»	»	»	»
Brésil	»	»	»	21 0 0 0	»	»
Chili	»	»	»	»	»	»
Pays divers	»	»	»	18 0 0 0	»	»
Quantités totales exportées	»	27 0 0 0	»	4.341 0 0 0	»	»

importé en Angleterre en 1854.

FER FIN.	FER fendu et en verges.	DÉBRIS de vieille fonte.	CERCLES de fer.	FONTE.	ACIER BRUT.	ACIER en massiaux.	OBJETS en fer recouverts d'étain ou de cuivre par galvanisation.	FER ET ACIER TRAVAILLÉS. Fers et aciers manufacturés (machines, instruments, coutellerie).	FER ET ACIER TRAVAILLÉS. Objets d'ornement et de fantaisie de fer et d'acier.
tonnes. c. q. lbs.	t. c. q. lbs.	ton. c. q. lbs.	t. c. q. lbs.	t. c. q. lbs.	tonnes. c. q. lbs.	ton. c. q. lbs.	liv. sterl. s. d.	cwt. q. lbs.	cwt. q. lbs.
»	»	1 1 2 6	»	»	»	»	»	7 0 11	»
611 19 1 12	8 11 0 0	25 18 1 0	»	»	1.193 15 3 25	14 0 0 0	»	164 3 22	0 0 2
150 17 0 14	»	8 17 2 22	»	»	»	»	»	2 2 5	»
»	»	0 13 0 0	»	»	»	»	»	115 0 9	0 2 24
»	»	3 19 0 0	»	»	»	»	»	4 2 0	»
»	»	91 15 2 10	0 2 0 0	»	99 6 0 2	22 0 0 0	»	468 3 0	8 1 2
»	0 1 3 11	10 16 3 0	»	1 16 0 0	8 12 1 14	5 0 0 0	»	1.801 3 11	3 0 14
»	10 0 2 0	2 13 0 0	»	»	6 14 1 5	9 0 0 0	»	3.361 0 15	13 2 1
»	»	»	»	»	»	»	»	597 3 3	»
»	»	201 14 2 0	»	0 3 0 0	0 0 2 4	15 0 0 0	24 0 25	2.693 2 21	292 2 3
»	»	1 11 1 5	»	»	»	»	»	0 2 1	»
»	»	1 10 0 0	»	0 1 0 14	»	»	»	201 1 21	»
»	»	60 3 1 2	»	»	82 3 0 2	»	»	20 2 6	»
»	»	»	»	»	»	»	»	0 1 4	»
»	»	»	»	»	»	»	»	1 3 22	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	21 14 0 4	»	»	»	»	»	1 2 3	»
»	»	55 5 2 6	»	»	»	»	»	814 0 7	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	68 1 22	»
»	35 5 0 25	101 2 2 19	26 5 0 0	»	15 0 0 0	6 0 0 0	»	73 1 12	»
»	»	12 16 1 7	»	»	»	»	»	175 2 20	»
»	»	26 8 1 20	»	»	»	»	»	4.238 2 17	4 3 15
»	»	2 7 3 23	»	10 10 0 0	3 0 0 0	155 0 0 0	»	504 2 18	»
»	»	70 17 0 27	»	39 19 0 0	»	»	»	139 3 1	»
»	»	49 19 3 6	»	»	»	»	»		
762 16 1 26	53 18 2 8	751 5 3 17	20 7 0 0	52 9 0 14	1.408 11 0 24	226 0 0 0	24 0 25	15.458 0 27	323 0 5

réexporté par l'Angleterre en 1854.

»	»	»	»	»	»	»	»	26 0 5	2 3 7
»	»	»	»	»	19 0 0 0	»	»	12 3 21	»
»	»	»	»	»	97 0 0 0	»	»	25 0 6	»
»	»	»	»	»	»	»	»	18 2 15	»
»	»	»	»	»	3 0 0 0	»	»	24 0 0	»
»	»	»	»	»	»	»	»	3 3 19	»
»	»	»	»	»	5 0 0 0	»	»	44 2 2	»
»	»	»	»	»	»	»	»	69 1 27	»
»	»	»	»	»	1.127 0 0 0	»	»	787 0 1	»
»	»	»	»	»	»	»	»	612 0 3	»
»	»	»	»	»	»	»	»	674 0 21	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	449 1 4	»
»	»	»	»	»	58 0 0 0	»	»	310 2 9	0 0 2
»	»	»	»	»	»	»	»	12 2 5	»
»	»	»	»	»	20 0 0 0	»	»	208 0 7	»
»	»	»	»	»	»	»	»	264 0 21	»
»	»	»	»	»	11 0 0 0	»	»	45 3 14	»
»	»	»	»	»	»	»	»	61 3 23	»
»	»	»	»	»	»	»	»	48 1 9	0 0 2
»	»	»	»	»	»	»	»	45 3 1	»
»	»	»	»	»	»	»	»	90 3 3	0 0 3
»	»	»	»	»	1.340 0 0 0	»	»	3.810 0 20	2 3 14

TABLEAU Nº V. — *Fer anglais comprenant l'acier brut exporté par le Royaume-Uni en* 1853.

CONTRÉES DANS LESQUELLES L'EXPORTATION A EU LIEU.	FONTE en gueuses.	FER en barres.	FER en verges.	FONTE moulée.	FIL de fer.	FER FORGÉ. Ancres, etc.	FER FORGÉ. Cercles.	FER FORGÉ. Clous.	FER FORGÉ. Variétés diverses (excepté celles de l'ordonnance).	VIEUX FER.	ACIER non travaillé.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Russie	639	5.080	4	1.499	119	234	41	59	1.247	»	518
Suède	313	63	14	706	9	142	»	22	443	»	7
Norwége	2.147	295	124	693	51	533	104	4	790	»	31
Danemark	13.272	10.368	426	1.207	113	238	809	143	1.614	37	87
Prusse	23.102	1.436	79	462	5	217	7	72	1.674	2.038	199
Mecklenbourg	2.883	246	23	163	2	142	67	»	244	»	5
Hanovre	5.971	20.109	29	235	137	135	127	»	3.910	80	104
Oldenbourg	205	1.134	»	»	»	74	»	»	539	»	1
Villes anséatiques	12.144	16.570	770	1.073	452	1.326	1,297	162	5.026	2.426	1.395
Hollande	23.544	5.823	237	2.505	175	1.639	1,364	55	5.986	30	588
Belgique	6	41	»	143	234	19	»	1	121	27	915
Iles du canal	147	316	46	194	2	149	26	101	401	66	27
France	31.830	934	27	76	18	361	113	4	932	»	140
Portugal, Açores et Madère	1.148	2.645	826	67	39	146	1.311	53	571	133	8
Espagne et Canaries	6 869	11.950	114	3.203	165	329	1.029	26	3.012	48	118
Gibraltar	120	46	»	6	7	85	406	61	73	»	8
Italie	17.929	26.683	1.125	14.941	344	1.190	1.381	86	3.748	573	353
Malte	»	82	11	28	1	69	2	5	10	»	»
Iles Ioniennes	»	130	»	1	»	»	11	2	3	»	»
Grèce	»	25	17	»	»	53	7	»	3	»	»
Turquie	315	1.053	775	15	8	490	169	20	486	»	5
Valachie et Moldavie	50	86	»	11	1	»	132	»	11	»	»
Syrie et Palestine	»	105	29	2	»	8	5	»	27	»	16
Egypte	247	3.014	25	3.512	38	30	45	15	880	»	18
Tunis	»	50	»	»	»	»	5	»	5	»	»
Algérie	125	»	»	4	»	»	»	»	»	»	»
Maroc	10	»	»	»	7	»	»	1	2	»	2
Côte occidentale de l'Afrique	»	598	3	463	»	18	1.158	24	236	»	1
Colonies anglaises du sud de l'Afrique	50	889	21	270	5	18	224	112	699	»	9
Iles du cap Vert	»	»	»	16	»	2	»	»	6	»	»
Sainte-Hélène et l'Ascension	»	»	»	5	»	»	»	4	8	»	»
Maurice	21	628	29	391	1	11	39	197	354	»	5
Aden	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Possessions anglaises des Indes orientales	1.121	21.032	1.088	7.204	2.470	556	1.227	346	3.026	»	207
Java	»	132	67	155	»	33	55	»	131	»	20
Iles Philippines	88	443	35	15	4	»	»	4	8	»	»
Chine	70	220	521	19	65	»	100	10	70	»	40
Etablissements anglais de l'Australie	2.294	5.379	172	4.849	1.454	292	616	1.881	16.213	»	220
Iles de la mer du Sud	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Colonies anglaises de l'Amérique du nord	27.287	82.846	886	5.819	580	4,304	2.100	1.984	15.785	934	906
Indes occidentales anglaises et Guyane	3	581	8	952	18	64	624	917	1.259	»	13
Indes orientales étrangères	135	3.386	65	1.854	94	99	340	302	1.261	76	7
Etats-Unis	158.476	410.139	1.162	2.842	3.046	7.145	10.467	649	36.830	9.633	14.142
Mexique	»	268	»	41	46	1	1	11	107	»	26
Amérique du centre	»	90	8	52	»	6	3	17	74	»	3
Nouvelle-Grenade	»	617	»	61	»	13	1	23	158	»	9
Venezuela	30	29	»	215	1	1	3	12	31	»	»
Equateur	»	14	»	27	»	»	»	9	16	»	»
Brésil	834	3.628	142	3.084	21	338	364	388	1.495	83	75
République orientale de l'Uruguay	40	303	»	241	3	10	96	11	96	»	6
Buénos-Ayres	20	532	42	265	122	84	260	56	150	»	»
Chili	100	3.911	45	693	54	26	40	101	993	»	50
Pérou	»	937	19	690	1	21	23	19	322	»	4
Iles Falkland	»	»	2	»	»	»	»	1	64	»	»
Total	333.585	644,886	9.016	60.979	9.912	20.651	26.199	7.970	111.652	16.134	20,288

TABLEAU N° VI. — *Quincaillerie anglaise exportée en* 1853.

CONTRÉES dans lesquelles l'exportation a eu lieu.	QUINCAILLERIE et coutellerie anglaise.	
	Quantité.	Valeur déclarée.
	tonnes.	liv. st.
Russie	499	57.932
Suède	64	7.387
Norwége	131	15.370
Danemark	132	17.519
Prusse	88	10.362
Mecklembourg	0	69
Hanovre	3	596
Villes anséatiques	1.140	167.331
Hollande	490	61.296
Belgique	301	53.978
Iles du Canal	308	22.084
France	570	95.333
Portugal, Açores et Madère	234	32.292
Espagne et Canaries	463	52.220
Gibraltar	120	20.803
Italie	445	55.522
Malte	40	6.139
Iles Ioniennes	13	1.295
Grèce	10	1.082
Turquie	153	21.339
Valachie et Moldavie	7	424
Syrie et Palestine	20	1.931
Egypte	53	11.106
Maroc	1	306
Côte orientale d'Afrique	597	58.402
Colonies anglaises du sud de l'Afrique	616	60.606
Iles du Cap-Vert	3	188
Sainte-Hélène et l'Ascension	4	532
Maurice	176	16.671
Perse	1	275
Etablissements anglais des Indes orientales	1.210	135.936
Java	74	7.059
Iles Philippines	40	4.587
Chine	25	6.930
Etablissements anglais de l'Australie	5.776	634.667
Iles de la mer du Sud	1	149
Colonies anglaises du nord de l'Amérique	2.284	206.765
Indes orientales anglaises et Guiane	633	52.236
Indes orientales étrangères	1.269	89.097
Etats-Unis d'Amérique	10.091	1.334.127
Mexique	188	25.292
Amérique centrale	72	7.651
Nouvelle-Grenade	235	19.999
Vénézuéla	143	9.725
Ecuador	23	2.214
Brésil	1.467	119.822
République orientale de l'Uruguay	407	27.918
Buenos-Ayres	386	25.166
Chili	810	61.551
Pérou	536	43.546
Iles Falkland	3	224
Total	32.375	3.665.051

TABLEAU N° VIII. — *Quincaillerie anglaise exportée en* 1854.

CONTRÉES dans lesquelles l'exportation a eu lieu.	QUINCAILLERIE et coutellerie anglaise.	
	Quantité.	Valeur déclarée.
	tonnes.	liv. st.
Russie	2	249
Balaklava	4	387
Suède	97	12.475
Norwége	195	23.973
Danemark	177	20.654
Prusse	127	18.084
Mecklembourg	1	144
Hanovre	0	260
Villes anséatiques	1.064	161.822
Hollande	515	61.431
Belgique	332	42.603
Iles du Canal	322	19.794
France	360	78.948
Portugal, Açores et Madère	221	31.900
Espagne et Canaries	378	46.346
Gibraltar	100	14.740
Italie	471	60.020
Malte	41	6.094
Iles Ioniennes	21	2.430
Grèce	6	733
Turquie	116	15.117
Valachie et Moldavie	1	30
Syrie et Palestine	7	1.050
Egypte	67	16.225
Maroc	6	1.103
Côte occidentale de l'Afrique	557	62.147
Colonies anglaises du sud de l'Afrique	559	58.848
Iles du Cap-Vert	2	98
Sainte-Hélène et l'Ascension	2	374
Maurice	172	14.721
Aden	0	10
Possessions anglaises des Indes orientales	1.256	147.551
Java	94	11.214
Iles Philippines	96	10.473
Chine	26	4.216
Etablissements anglais de l'Australie	5.945	584.549
Iles de la mer du Sud	16	1.108
Colonies anglaises de l'Amérique du Nord	2.847	306.843
Indes occidentales et Guyane	620	53.276
Indes occidentales étrangères	1.530	118.183
Etats-Unis	8.452	1.431.696
Mexique	156	20.831
Amérique centrale	40	4.550
Nouvelle-Grenade	117	13.299
Vénézuéla	152	14.829
Ecuador	1	379
Brésil	1.688	144.561
République orientale de l'Uruguay	386	31.594
Buenos-Ayres	1.200	86.342
Chili	938	67.418
Pérou	544	41.688
Iles Falkland	2	188
Total	32.054	3.867.598

TABLEAU N° VII.— *Fer anglais (comprenant l'acier brut) exporté par le Royaume-Uni en 1854.*

CONTRÉES DANS LESQUELLES L'EXPORTATION A EU LIEU.	FONTE en gueuses.	FER en barres.	FER en verges.	FONTE moulée.	FIL de fer.	FER FORGÉ. Ancres, etc.	FER FORGÉ. Cercles.	FER FORGÉ. Clous.	FER FORGÉ. Variétés diverses (excepté celles de l'ordonnance).	VIEUX FER.	ACIER non travaillé.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Russie (mer Noire)	»	»	»	9	»	»	»	1	1	»	»
Balaklava	22	849	»	10	»	17	»	21	22	»	»
Suède	159	84	2	131	46	382	3	22	257	»	12
Norwége	1.594	305	256	98	37	697	115	1	454	»	45
Danemark	11.507	10.032	540	1.985	95	241	1.162	32	2.113	81	50
Prusse	20.591	998	156	4	14	305	18	77	826	1.186	157
Mecklembourg	266	639	73	88	4	246	110	»	434	»	8
Hanovre	8.723	1.324	42	130	»	214	13	1	82	»	1
Oldenbourg	263	724	»	22	»	41	»	»	76	»	»
Villes anséatiques	16.674	6.542	343	3.325	453	1.073	1.535	34	4.574	1.216	1.021
Héligoland	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Hollande	26.640	22.905	218	3.330	199	2.167	1.085	121	11.276	100	628
Belgique	10	7	»	31	332	42	»	»	234	»	886
Iles du Canal	224	322	36	61	2	253	27	77	450	10	13
France	33.512	6.716	19	189	49	428	221	28	1.299	»	413
Portugal, Açores et Madère	1.536	10.612	1.778	1.668	57	146	2.067	91	951	224	17
Espagne et Canaries	8.631	9.192	12	1.964	257	672	1.161	40	1.854	3	121
Gibraltar	110	397	»	24	12	154	367	10	163	15	3
Italie	9.349	36.175	1.807	7.246	643	1.168	1.096	158	4.821	428	333
Malte	174	615	39	450	6	58	23	4	105	»	»
Iles loniennes	19	177	1	3	1	»	1	4	27	»	»
Grèce	»	466	10	1	1	99	19	3	19	»	»
Turquie	980	4.788	1.010	107	10	366	119	115	797	»	8
Valachie et Moldavie	»	334	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Syrie et Palestine	»	171	77	1	1	28	3	6	20	»	»
Egypte	624	3.428	3	6.222	226	456	6	12	1.277	»	52
Algérie	130	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Maroc	»	88	»	»	7	»	»	»	4	»	5
Côte occidentale d'Afrique	»	659	»	381	»	26	894	34	226	»	»
Colonies anglaises du sud de l'Afrique	»	623	21	426	8	53	327	99	753	»	16
Iles du Cap-Vert	»	2	»	2	»	»	»	»	7	»	»
Sainte-Hélène et Ascension	»	1	»	3	4	»	»	1	5	»	»
Maurice	1	877	19	721	2	4	39	69	453	»	8
Aden	»	»	»	6	»	»	»	»	»	»	»
Possessions anglaises aux Indes orientales	1.511	29.292	1.208	8.485	170	680	2.484	344	4.442	»	318
Java	120	86	»	15	»	11	37	4	47	»	40
Iles Philippines	»	709	40	15	1	25	1	1	41	»	34
Chine	62	71	622	29	39	45	37	2	242	»	1
Etablissements anglais de l'Australie	1.049	10.591	175	11.540	1.795	233	1.040	1.793	13.763	4	179
Iles de la mer du Sud	20	13	»	2	»	18	»	1	11	»	1
Colonies anglaises de l'Amerique du Nord	33.986	89.744	729	7.574	206	5.508	2.460	2.545	16.758	6	950
Indes anglaises occidentales et Guyane	38	553	31	1.075	12	64	867	869	1.199	»	7
Indes occidentales étrangères	37	3 570	105	2.497	172	54	770	369	2.074	185	38
Etats-Unis	114.102	337.777	2.468	2.767	2.638	9.690	11.018	424	35.260	8.784	15.268
Mexique	»	284	1	25	5	3	7	9	77	»	10
Amérique centrale	»	119	»	57	»	»	2	6	54	»	»
Nouvelle-Grenade	»	32	»	8	8	3	1	29	112	»	3
Vénézuéla	»	101	»	241	3	3	17	14	71	»	»
Ecuador	»	»	»	5	»	»	»	3	20	»	»
Brésil	442	2.332	82	4.063	4	216	349	470	1.504	»	41
République orientale de l'Uruguay	40	640	»	216	34	»	141	26	73	»	5
Buenos-Ayres	15	1.888	109	502	360	68	691	88	115	»	29
Chili	130	4.076	11	749	22	95	330	39	1.005	»	57
Pérou	141	2.728	3	834	2	32	46	42	845	»	9
Iles Falkland	»	4	»	1	»	»	»	2	4	»	1
Total	293.432	604.662	12.056	69.338	7.937	26.084	30.709	8.141	111.269	12.242	20.793

TABLEAU Nº IX. — *Charbon minéral exporté des différents ports d'Angleterre,*

	PORTS DU ROYAUME-UNI desquels il est exporté.	QUANTITÉ EXPORTÉE. Charbon.	Fraisil.	Charbon menu.	TOTAL.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Angleterre.	Londres	84.487	335	»	84.822
	Faversham	225	»	»	225
	Ramsgate	1.372	»	»	1.372
	Shoreham	95	»	»	95
	Southampton	568	»	»	568
	Poole	135	»	»	135
	Dartmouth	10	50	»	60
	Plymouth	138	40	»	178
	Fowey	20	»	»	20
	Falmouth	167	»	»	167
	Truro	»	14	»	14
	Bideford	380	»	»	380
	Bristol	9.617	17	»	9.634
	Gloucester	38	»	»	38
	Cardiff	424.994	4.501	»	429.495
	Newport	111.778	110	»	111.888
	Swansea	65.177	»	1.194	66.371
	Neath	4.448	»	810	5.258
	Port Talbot	1.920	»	»	1.920
	Llanelly	10.407	»	1.166	11.573
	Milford	540	»	»	540
	Douglas	20	»	»	20
	Chester	1.009	»	»	1.009
	Liverpool	331.878	1.724	»	333.602
	Preston	775	»	»	775
	Fleetwood	550	»	»	550
	Lancaster	1.242	»	»	1.242
	Whitehaven	2.072	»	»	2.072
	Workington	1.267	»	»	1.267
	Maryport	2.310	»	»	2.310
	Carlisle	180	»	»	180
	Berwick	274	»	»	274
	Newcastle	1.032.566	79.304	»	1.111.870
	Shields	226.594	15.437	»	242.031
	Sunderland	520.737	21.490	»	542.227
	Stockton	72.701	16.633	»	89.334
	Hartlepool	410.331	32.960	»	443.291
	Gainsborough	150	»	»	150
	Hull	51.345	405	»	51.750
	Goole	2.070	»	»	2.070
	Grimsby	2.656	»	»	2.656
	Lowestoft	30	120	»	150
Écosse.	Leith	22.533	49	»	22.582
	Borrowstoness	70.124	59	»	70.183
	Grangemouth	24.069	80	»	24.149
	Alloa	46.652	»	»	46.652
	Kirkaldy	31.813	»	»	31.813
	Dundee	22.856	26	»	22.882
	Perth	7	»	»	7
	Arbroath	51	»	»	51
	Aberdeen	220	»	»	220
	Greenock	21.326	»	»	21.326
	Port Glasgow	5.529	»	»	5.529
	Glasgow	44.925	415	»	45.340
	Irvine	86.563	»	»	86.563
	Ayr	999	»	»	999
	Stranraer	347	»	»	347
Irlande.	Dublin	1.477	»	»	1.477
	Cork	568	»	»	568
	Limerick	30	»	»	30
	Londonderry	125	»	»	125
	Belfast	636	»	»	636
	TOTAUX	3.758.123	173.769	3.170	3.935.062

d'Écosse et d'Irlande, à l'étranger et dans les colonies anglaises. — ANNÉE 1853.

CONTRÉES dans lesquelles il est exporté.	QUANTITÉ EXPORTÉE. Charbon.	Fraisil.	Charbon menu.	TOTAL.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Russie	212.762	2.255	»	215.017
Suède	72.927	2.805	»	75.732
Norwége	55.418	4.006	»	59.424
Danemark	297.045	14.902	»	311.947
Prusse	238.163	26.314	»	264.477
Mecklembourg	21.230	3.827	»	25.057
Hanovre	25.760	964	»	26.724
Oldenbourg	9.257	464	»	9.721
Villes anséatiques	315.829	10.184	»	326.013
Heligoland	32	»	»	32
Hollande	117.723	3.356	»	121.079
Belgique	170	»	»	170
Iles du détroit	59.876	514	180	60.570
France	712.801	2.586	2.370	717.757
Portugal, Açores et Madère	104.229	1.008	»	105.237
Espagne et Canaries	180.447	65.482	235	246 164
Gibraltar	36.509	320	»	36.829
Italie	163.819	28.513	190	192.522
Malte	88.597	»	»	88.597
Iles Ioniennes	16.728	»	»	16.728
Grèce	10.335	»	»	10.335
Turquie	83.055	70	»	83.125
Valachie et Moldavie	6.377	334	»	6.711
Syrie et Palestine	7.143	»	»	7.143
Égypte	17.957	490	»	18.447
Tunis	798	»	»	798
Algérie	26.156	»	»	26.156
Maroc	135	»	»	135
Côté occidentale de l'Afrique	6.609	»	»	6.609
Possessions anglaises du sud de l'Afrique	31.281	»	»	31.281
Ports africains de la mer Rouge	766	»	»	766
Iles du Cap Vert	8.004	»	»	8.004
Ascension	3.913	»	»	3.913
Sainte-Hélène	1.044	»	»	1.044
Maurice	6.217	»	»	6.217
Aden	28.302	»	»	28.302
Possessions anglaises des Indes orientales	114.544	765	»	115.309
Java	9.626	»	»	9.626
Iles Philippines	5.996	»	»	5.996
Ternate	784	»	»	784
Chine	35.220	»	»	35.220
Iles du Japon	586	»	»	586
Etablissements anglais de l'Australie	58.798	94	»	58.892
Colonies anglaises du nord de l'Amérique	70.157	2.126	»	72.283
Indes occidentales anglaises	85.550	614	»	86.164
Indes occidentales étrangères	132.769	66	»	132.835
Etats-Unis de l'Amérique	112.183	218	»	112.401
Californie	22.626	»	»	22.626
Mexique	3.796	»	»	3.796
Amérique centrale	54	»	»	54
Nouvelle-Grenade	12.535	154	»	12.689
Vénézuéla	895	5	»	900
Ecuador	95	»	»	95
Brésil	61.919	399	»	62.318
République orientale de l'Uruguay	8.764	»	»	8.764
Buénos-Ayres	1.864	20	»	1.884
Chili	38.920	819	195	39.934
Péron	11.555	95	»	11.650
Iles Falkland	973	»	»	973
Groenland et Davis	50	»	»	50
TOTAL	3.758.123	173.769	3.170	3.935.062

TABLEAU N° X. — *Charbon minéral exporté des différents ports d'Angleterre,*

	PORTS DU ROYAUME-UNI desquels il est exporté.	QUANTITÉ EXPORTÉE. Charbon.	Fraisil.	Charbon menu.	TOTAL.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Angleterre.	Londres	81.289	931	»	82.220
	Faversham	170	»	»	170
	Folkstone	»	1	»	1
	Portsmouth	471	»	»	471
	Southampton	1.016	»	»	1.016
	Poole	878	»	»	878
	Dartmouth	145	»	»	145
	Plymouth	»	22	»	22
	Penzance	290	»	»	290
	Bideford	83	»	»	83
	Bristol	11.072	30	»	11.102
	Gloucester	414	»	»	414
	Cardiff	560.355	5.591	»	565.946
	Newport	134.184	371	»	134.555
	Swansea	86.448	»	1.962	88.410
	Neath	5.698	»	426	6.124
	Port Talbot	3.689	»	»	3.689
	Llanelly	19.375	»	3.127	22.502
	Milford	1.255	»	»	1.255
	Beaumaris	415	»	»	415
	Douglas	25	»	»	25
	Chester	360	»	»	360
	Liverpool	344.843	2.379	»	347.222
	Fleetwood	1.350	»	»	1.350
	Lancaster	2.126	»	»	2.126
	Whitehaven	2.747	»	»	2.747
	Workington	1.664	»	»	1.664
	Maryport	3.108	»	»	3.108
	Carlisle	231	»	»	231
	Berwick	484	»	»	484
	Newcastle	1.345.456	74.065	»	1.419.521
	Shields	178.267	15.936	»	194.203
	Sunderland	479.271	26.177	»	505.448
	Stockton	62.976	23 336	»	86.312
	Hartlepool	375.680	34.100	»	409.780
	Hull	53.837	464	»	54.301
	Goole	1.685	»	»	1.685
	Grimsby	2.800	»	»	2.800
Écosse.	Leith	23.657	28	»	23.685
	Borrowstoness	63.027	100	»	63.127
	Grangemouth	19.229	182	»	19.411
	Alloa	45.483	»	»	45.483
	Kirkaldy	25.800	»	»	25.800
	Dundee	26.472	»	»	26.472
	Perth	42	»	»	42
	Arbroath	55	5	»	60
	Aberdeen	512	»	»	512
	Lerwick	19	»	»	19
	Greenock	22.690	18	»	22.708
	Port Glasgow	5.465	»	»	5.465
	Glasgow	54.985	292	»	55.277
	Irvine	63.001	»	»	63.001
	Ayr	408	»	»	408
	Dumfries	200	»	»	200
Irlande.	Dublin	991	»	»	991
	Waterford	447	»	»	447
	Cork	325	»	»	325
	Belfast	2.717	»	»	2.717
	Newry	30	»	»	30
	TOTAL	4.119.712	184.028	5.515	4.309.255

d'Écosse et d'Irlande, de l'étranger et dans les colonies anglaises. — ANNÉE 1854.

CONTRÉES dans lesquelles il est exporté.	QUANTITÉ EXPORTÉE. Charbon.	Coke.	Fraisil.	TOTAL.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Russie, ports dans la mer Noire	2.976	»	»	2.976
— Balaklava (postérieurement à son occupation par les forces alliées)	250	150	»	400
Suède	95.365	2.122	90	97.577
Norwége	81.480	7.188	»	88.668
Danemark	364.203	9.761	»	373.964
Prusse	257.288	29.031	»	286.319
Mecklembourg	14.860	2.536	»	17.396
Hanovre	33.839	1.751	»	35.590
Oldenbourg	10.066	85	»	10.151
Villes anséatiques	312.388	11.472	»	323.860
Hollande	129.291	3.486	»	132.777
Belgique	169	1	»	170
Iles du détroit	61.084	877	320	62.281
France	806.384	4.228	4.225	814.837
Portugal, Açores et Madère	64.140	1.590	»	65.730
Espagne et les Canaries	141.794	64.048	634	209.476
Gibraltar	49.000	269	»	49.269
Italie	171.591	34.744	»	206.335
Malte	161.415	»	60	161.475
Iles Ioniennes	19.881	»	»	19.881
Grèce	27.526	»	»	27.526
Turquie	255.424	346	»	255.770
Valachie et Moldavie	508	»	»	508
Syrie et Palestine	5.857	»	»	5.857
Egypte	55.414	1.895	»	57.309
Tunis	1.938	»	»	1.938
Algérie	24.060	»	»	24.060
Maroc	10.439	»	»	10.439
Côtes occidentales de l'Afrique	11.146	»	»	11.146
Possessions anglaises du sud de l'Afrique	7.691	»	»	7.691
Ports africains dans la mer Rouge	1.431	»	»	1.431
Iles du Cap Vert	6.484	»	»	6.484
Ascension	1.245	»	»	1.245
Sainte-Hélène	881	»	»	881
Madagascar	718	»	»	718
Bourbon	657	»	»	657
Maurice	2.215	5	»	2.220
Aden	32.013	»	»	32.013
Territoires anglais dans les Indes orientales	101.056	957	»	102.013
Java	4.971	53	»	5.024
Iles Philippines	1.034	»	»	1.034
Chine	16.854	»	»	16.854
Etablissements anglais dans l'Australie	43.247	516	»	43.763
Iles de la mer du Sud	1.682	»	»	1.682
Colonies anglaises du nord de l'Amérique	125 052	2.445	»	127.497
Indes occidentales anglaises	100.109	528	»	100.637
Indes occidentales étrangères	108.856	4	»	108.860
Etats-Unis d'Amérique	185.008	360	»	185.368
Californie	13.291	»	»	13.291
Mexique	2.838	»	»	2.838
Amérique centrale	200	»	»	200
Nouvelle-Grenade	3.409	150	»	3.559
Vénézuéla	315	15	»	330
Brésil	112.818	1.658	»	114.476
République orientale de l'Uruguay	8.046	»	»	8.046
Buénos-Ayres	7.681	378	»	8.059
Chili	38.261	932	136	39.329
Pérou	18.154	447	50	18.651
Iles Falkland	719	»	»	719
TOTAL	4.119.712	184.028	5.515	9.255 4.30

Sur l'existence de terrains aurifères dans la province de Fernambouc (Brésil).

Vers la fin du mois d'octobre dernier, une compagnie de Rio avait fait explorer les terrains situés dans la province de Maragnan, entre les rivières Turry, Assà et Gurupy, que l'on suppose renfermer des gisements aurifères. La commission qu'elle avait expédiée est déjà revenue à Saint-Louis, après avoir terminé l'examen dont elle était chargée. Les résultats obtenus seraient magnifiques ; l'exploration n'avait rencontré aucun obstacle, et ces nouvelles mines surpasseraient de beaucoup en richesse toutes celles découvertes jusqu'à ce jour. Voici, au surplus, l'extrait du rapport de la commission, que j'emprunte à un journal de la localité.

Les mines visitées sont connues sous les noms de D. Francisca, Monte-Christo et Prata; elles paraissent d'une richesse égale. Les terrains sont composés d'un mélange de quartz et de schiste liés ensemble par une argile ferrugineuse.

Les terrains parcourus par la commission n'étaient pas défrichés; mais partout où elle a pu observer, elle a rencontré la couche aurifère à une profondeur de deux palmes (5o centimètres environ) et sans aucune interruption. Il ne lui a pas été possible de déterminer, dès aujourd'hui, l'étendue des couches, mais elle pense que tout le pays situé entre les rivières Gurupy et Maracassumé contient des gisements dont la source serait sans aucun doute dans la Serra Catharina, communément appelée Serra de Aricambà (habitée encore par des Indiens sauvages), et où elle suppose l'existence d'une grande quantité d'or.

Le manque d'eau ne rendrait l'exploitation possible qu'à l'époque des pluies; cependant l'on pourrait obvier à cet obstacle en reliant le Gurupy au Maracassumé par un canal dont le creusement ne paraît présenter aucune difficulté sérieuse. La commission a transmis en même temps à Rio des échantillons de l'or qu'elle avait recueilli; il était d'un titre très-pur, et, par la grosseur des pépites, dénotait des veines d'une richesse extraordinaire.

Reste la question de savoir jusqu'à quel point ces détails sont exacts, mais la vérité sera bien vite connue.

(*Extrait d'une dépêche de M.* DURAND DE SAINT-ANDRÉ, *consul de France à Fernambouc, 12 janvier* 1855.)

Lettre de M. Arnoux, missionnaire apostolique dans l'Ancienne-Cochinchine, à MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont (1).

Quâng-ngâi en Moyenne-Cochinchine, 25 février 1855.

Vers la fin de l'année 1853, j'ai eu l'honneur de vous faire part comme de coutume de mes petites découvertes scientifiques dans ce pays. Je vous ai parlé alors de la métallurgie de l'or et du fer chez les sauvages à l'ouest de la Cochinchine, puis d'un silicate et d'un sulfure de zinc trouvés dans ce royaume à la province du Quâng-nam. Actuellement, je vais continuer à relater les divers renseignements que j'ai pu prendre, soit en minéralogie, soit en géologie, pendant le courant de l'année 1854, en même temps que je recueille quelques échantillons que je vous adresse. Je voudrais pouvoir vous envoyer quelque chose d'un peu plus intéressant, mais je vous prie, messieurs, de vous rappeler que je suis en pays ennemi, où il n'y a pas moyen aux Européens de se produire au dehors sans s'exposer à une mort certaine; veuillez ne

(1) M. Arnoux annonce qu'il a envoyé, en outre, par la voie ordinaire du commerce, des caisses contenant les minéraux qu'il décrit et qu'il destine aux collections de l'École des mines.

L'impossibilité pour les Européens de faire des excursions même à une petite distance, a empêché M. Arnoux d'étudier la géologie de la partie de la Cochinchine qu'il habite. Les minéraux qu'il a décrits dans sa lettre lui ont été presque tous remis par des habitants du pays, qui lui ont du reste fait connaître la position exacte des lieux d'où ils proviennent.

La réunion de ces minéraux n'en est pas moins très-intéressante. Ils peuvent jusqu'à un certain point suppléer aux documents géologiques par la relation qui existe entre les minéraux et leur gisement. Il résulte de leur étude que les environs de Quâng-ngâi, jusqu'à une assez grande distance, appartiennent aux formations distinctes situées aux deux extrémités de l'échelle géologique, à savoir : des terrains anciens, des terrains tertiaires et des terrains d'alluvion.

Les minéraux décrits par M. Arnoux qui appartiennent au premier de ces terrains sont :

Le *kaolin*, d'un beau blanc et très-propre, d'après la description que donne ce jeune missionnaire, à faire de la porcelaine de belle qualité.

De la pyrite de fer, du sulfure d'antimoine, du sulfure de zinc, du fer oligiste, du fer oxydulé magnétique, du fer oxydé rouge, de l'hématite brune et du graphite. Ce dernier minéral est, d'après la description de M. Arnoux, à texture schistoïde; il est même associé à une roche schisteuse noire assez

pas oublier non plus que mes connaissances scientifiques sont trop bornées pour que je puisse vous donner quelque chose de très-satisfaisant.

N° 1. *Lignite.* — Friable, se réduisant facilement en poussière; il est noir avec une nuance plus ou moins brune, suivant les échantillons. Les filaments du bois sont généralement très-distincts, parfois pourtant ils le sont beaucoup moins; j'ai même trouvé quelques fragments très-noirs avec vif éclat et texture écailleuse. Au feu, il s'allume assez difficilement; si on l'en retire, il s'éteint presque instantanément, et l'endroit brûlé reste couvert de cendres blanches. Pendant la combustion, je n'ai remarqué ni boursouflement ni agglutination, ni autre odeur que celle du coke; seulement les fragments mis au feu se sont bientôt divisés et réduits presqu'en poussière.

Ce charbon se trouve au nord du Binh-dinh, près du port Kim-bong, vers les 14°25' de latitude, à une demi-lieue à peu près de ce port. On le tire du milieu du sable, où il se trouve à moins de 1 mètre de profondeur; dans toute la plaine de

---

dure analogue sous ce rapport à celles qui accompagnent le graphite du Cumberland et celui de Bavière. Il y a donc identité dans la nature de la roche et du terrain. Ce graphite provient d'une chaine de montagnes au milieu de laquelle coule la petite rivière qui se jette au port Dai, à moins d'une journée de marche de ce port et sous le 15e degré de latitude.

On trouve dans les mêmes montagnes et associé aux mêmes schistes du phosphate d'alumine cristallisé et fibreux connu des minéralogistes sous le nom de wavellite; il accompagne aussi le graphite dans le Devonshire, où ce minéral a été trouvé pour la première fois par M. le docteur Wauck.

Les minéraux appartenant aux terrains tertiaires sont du fer oxydé en grains analogues à ceux du Berry et du Nivernais; des argiles de différentes qualités, dont l'une est employée pour le foulage des laines; des lignites, les uns analogues à ceux du département des Bouches-du-Rhône et présentant à quelques égards les caractères de la houille, les autres noirs et bruns possédant encore le tissu ligneux; des fragments de résine, qui peut-être jouent le même rôle que le succin. Les mines que nous considérons comme des terrains d'alluvion sont des argiles grossières, du phosphate de fer terreux et des tourbes.

Enfin, M. Arnoux a adressé plusieurs échantillons de pierres ponces roulées; elles ont été recueillies sur les bords de la mer. D'après les renseignements qu'il a pu se procurer, ces pierres volcaniques ne seraient pas originaires de la province de Quâng-nam, dont tous les échantillons qu'il a étudiés proviennent; elles seraient amenées, par les flots de la mer, de quelques îles voisines. (*Note de M. Dufrénoy.*)

cet endroit on en trouve pareillement, dit-on, même dans les endroits où le terrain n'est plus du sable, mais de la terre ferme. J'en expédie une petite caisse.

N° 23. *Tourbe.* — Cette tourbe très-filamenteuse vient de la partie sud du Quâng-nam, non loin de la mer; elle est recouverte d'une forte couche de sable. On dit qu'il y en a beaucoup.

N° 2. *Résine.* — On la trouve en fragments assez gros, recouverts d'une poussière gris brun, généralement allongés et un peu arrondis. Cassure légèrement conchoïde en travers et un peu esquilleuse dans le sens de la longueur; dans ce dernier sens elle est plus facile; couleur rouge et jaune avec un mélange des deux, mais les gros fragments sont noirâtres et opaques, tandis que les lames très-minces sont transparentes et presque incolores. Fusion et combustion très-faciles avec dégagement d'une grande quantité de fumée, mais en même temps d'une odeur assez agréable. Par la fusion en lames peu épaisses, cette résine prend une belle couleur jaune d'ambre tirant un peu sur le rouge. Je pense que c'est la rétinite de M. Dufrénoy. Elle vient de Khâng-mî et des environs; je déterminerai cet endroit plus tard.

N° 3. *Graphite.* — A texture schistoïde; il porte encore les empreintes de la roche schisteuse dans laquelle probablement cette substance se trouve encaissée. Au tube il a donné de l'eau; je n'ai pas remarqué d'odeur particulière; il paraît contenir beaucoup de fer. Les Annamites l'appellent *dà-chì*, à peu près synonyme du mot plombagine; aussi étaient-ils persuadés que j'allais de suite en tirer du plomb. Qui sait s'ils ne m'ont pas taxé d'ignorance pour n'avoir pu en faire sortir ce qui n'y est pas? Il se trouve à Cù-và dans une petite montagne à gauche de la rivière qui se jette au port Dai, à une petite distance de cette rivière et à moins d'une journée de la mer, à peu près par le 15e degré de latitude.

N° 4. *Phosphate d'alumine.* — Ce minéral a un aspect cristallin si peu net que je n'ai pu distinguer aucun angle; seulement les échantillons les moins imparfaitement cristallins semblent indiquer un prisme allongé; les faces verticales sont fortement striées et présentent dans quelques échantillons un certain aspect bacillaire. Ces faces sont parsemées d'une

foule de petites cavités conchoïdes ; en somme, tous les échantillons sont très-rugueux. Couleur noire avec cassure ondulée, mais d'un éclat vif, vitreux et résineux. Si l'on regarde les échantillons à la lumière, on voit que les bandes, les parties minces sont translucides, et d'une couleur jaune avec nuance de vert olive ; les parcelles très-minces sont même diaphanes. La poussière est d'un blanc grisâtre. Dureté analogue à celle de la chaux phosphatée, raye légèrement le verre. Seul sur le fil de platine, ce minéral fond facilement en un bouton translucide jaunâtre ; à la flamme extérieure, le jaune est d'une nuance plus belle, il y a nuance d'améthyste ; ce globule n'est point attirable. Avec le borax, il donne à chaud la couleur jaune du fer, par le refroidissement se développe une couleur verte, puis enfin la boule d'essai reste incolore, mais ne devient jamais opaque au flamber. Avec la sonde on obtient une perle colorée en vert ; il y a très-vive et longue effervescence. Dans le tube, nul effet sensible : ce minéral est donc anhydre. J'ai fait beaucoup d'expériences, soit par voie sèche, soit par voie humide pour m'assurer de la présence de l'acide phosphorique et de l'alumine ; il est inutile de les rapporter ; seulement, si j'avais eu un sel de baryte à ma disposition, il eût été facile de constater la présence de l'acide phosphorique. Quant à l'essai au chalumeau que décrit Berzélius pour le reconnaître, il ne m'a jamais réussi ; c'est le seul essai au chalumeau où j'aie échoué ; peut-être cela provient-il de ce que je n'ai pas de fil de fer assez petit (je me suis servi de petites aiguilles à coudre), ou peut-être aussi de l'imperfection de mon chalumeau en bambou qui ne produit pas une assez forte chaleur. Ce phosphate se trouve en abondance avec du minerai de fer résineux que je décrirai plus bas.

N° 5. *Phosphate de fer et de manganèse.* — A l'état amorphe avec beaucoup de cavités petites et grandes. L'extérieur des échantillons est recouvert généralement d'une poussière gris brun adhérente. Cassure aigre sans pourtant s'effectuer trop facilement sous le choc du marteau. Couleur noire avec éclat assez vif et résineux ; cet éclat est métalloïde et tend parfois à passer à l'état vitreux. La poussière est noire avec nuance verte. Ce minéral raye le verre et est rayé par le quartz. Dans le tube, il décrépite généralement quelque peu et parfois fortement. Des premiers échantillons que j'ai reçus, plusieurs pièces d'essai n'ont pas décrépité ; alors je n'ai pas remarqué d'eau,

et dans le tube ouvert il s'est dégagé une abondante fumée à laquelle je n'ai pu remarquer d'odeur spéciale. Ensuite, dans d'autres échantillons, j'ai remarqué un peu d'eau et dans d'autres beaucoup ; mais lorsque j'ai obtenu de l'eau, je n'ai remarqué que très-peu de fumée et souvent point du tout, mais dans tous les cas j'ai vu se former au-dessus de la pièce d'essai un très-léger anneau bleuâtre que l'on n'aperçoit bien qu'en l'exposant de manière que la lampe soit entre l'œil et le tube ; de plus, il se volatilise des substances qui couvrent le verre de nombreuses petites taches grisâtres. Quelles sont ces matières volatiles? sont-elles du nombre des substances connues? Je ne puis et n'ose rien affirmer. Sur le fil de platine ce minéral fond facilement en une scorie noire vivement altérable. Avec le borax, on aperçoit difficilement la réaction du manganèse ; elle est masquée par la couleur jaune du fer. Mais avec la soude, elle se développe très-fortement ; d'ailleurs, par voie humide, j'ai séparé un précipité de manganèse que j'ai essayé au borax ; j'ai obtenu alors la belle couleur violette améthyste caractéristique de cette substance. Ce minéral se trouve en abondance avec le minerai de fer résineux que je vais décrire.

N° 6. *Minerai de fer résineux manganésifère.* — En grains de différentes grosseurs, de celle d'un pois à celle d'une noisette, et assez mal arrondis généralement ; quelquefois ils sont anguleux ; lorsqu'ils sont plus gros qu'une noisette, ils sont toujours anguleux et parfois tuberculeux avec cavité intérieure. La couleur extérieure est le noir brun-marron et parfois le brun-rouge avec éclat résineux. La couleur de la cassure est généralement brun-rouge, mais parfois jaunâtre, c'est lorsque les échantillons tendent à prendre l'état terreux ; la poussière est ordinairement d'un brun plus rouge ; mais, suivant que les échantillons sont plus ou moins altérés, il s'y mêle plus ou moins de jaune. Les grains les plus altérés rayent encore le verre. Tous sont facilement fusibles en une scorie noire attirable. Avec la soude, on obtient la couleur verte du manganèse. Tous donnent beaucoup d'eau à l'essai au tube. Ce minerai est très-répandu dans la province du Quâng-ngâi ; il y en a surtout beaucoup dans la partie nord vers l'ouest. Ici j'indiquerai plus spécialement deux endroits : dans l'un se trouve en même temps la résine et le phosphate d'alumine décrits plus haut ; dans l'autre, le phosphate de fer et de

manganèse indiqué sous le numéro précédent. Le premier endroit, Khânh-inî, est à une demi-journée plus au nord que l'endroit où se trouvent le graphite et aussi un peu plus à l'est; le deuxième endroit, Tach-mî, est à peu près à la même latitude que le premier, mais à une demi-journée plus à l'ouest.

N° 7. *Minerai de fer stratifié bréchiforme.* — Ce minerai a été découvert à Phù-hoà en creusant des puits. La couche a une épaisseur d'environ 1 mètre et se trouve à 8 ou 9 mètres de profondeur dans un terrain argileux. En se déposant il a empâté des grains de quartz et de feldspath, ce qui lui donne une structure bréchiforme. Çà et là, il est aussi un peu résineux; je suppose qu'il renferme, comme le précédent, de l'acide phosphorique, mais je n'ai pas les moyens suffisants de m'en assurer. La couleur est rouge brun dans certains endroits, violette dans d'autres, bleuâtre parfois et d'autres fois jaunâtre dans les parties plus décomposées et plus mélangées d'argile. La première est généralement d'un rouge sang-veineux, mais des fragments donnent une poussière brun-jaune et même jaune. Il raye le verre, donne beaucoup d'eau au tube; avec la soude, légère réaction de manganèse; seul, il est facilement fusible en une scorie attirable. Phù-hoà se trouve sur la même rivière que Cù-và, gisement du graphite et aussi sur la même rive, mais seulement à une demi-journée de la mer.

N° 8. *Minerai de fer oxydé rouge.*

N° 9. *Minerai de fer oxydé jaune.*

Ces deux minerais sont mélangés ensemble et forment des masses volumineuses. Le premier offre généralement une couleur rouge brun et tend à passer à l'état terreux; mais dans les endroits non ou peu altérés, il offre la couleur brun clou de girofle et brun chocolat. La poussière est toujours rouge. Le second est jaunâtre ou jaune brun et donne une poussière de même couleur, seulement la nuance jaune est plus prononcée. Quelques échantillons sont un mélange des deux espèces. Tous deux rayent le verre, ce que je trouve assez extraordinaires pour l'espèce jaune; tous deux donnent beaucoup d'eau au tube, et fondent facilement en scorie attirable; aucun ne donne avec la soude la réaction du manganèse. Ces minerais se trouvent à Trâng-sôn, non loin de la mer, sur la

rive droite de la rivière qui coule au port de Quit-quit, au nord de la province du Quâng-ngâi.

N° 10. *Minerai de fer pyriteux.* — Roche noirâtre crevassée et offrant des parties un peu nacrées dans la cassure. Éclat gras, surtout dans les échantillons roulés; elle renferme beaucoup de grains de quartz résinite; sa poussière est d'un jaune brun clou de girofle. Elle raye légèrement le verre, même dans les endroits exempts de quartz. Au tube, donne de l'eau et une odeur de soufre; d'ailleurs, à la loupe, j'ai aperçu très-distinctement des pyrites jaunes de forme cubique adhérentes à la roche encaissante. Avec la soude, je n'ai pas découvert de manganèse. Ce minéral vient de Tân-an, à peu de distance, direction nord-ouest, de Cù-và. Autrefois il était exploité, mais la mauvaise qualité de fer qui en provenait l'a fait rejeter.

N° 11. *Minerai de fer manganésifère et pyriteux.* — Cette roche vient d'un jardin même de Cù-và. Elle est noire avec cassure grenue; l'intérieur de cette cassure a un éclat pierreux vif et résineux; la couleur noire à l'intérieur est mélangée d'endroits grisâtres. Elle raye facilement le verre et donne une poussière d'un gris foncé avec nuance verte. Si l'on agite cette poussière dans un peu d'eau, elle se sépare en deux, l'une noire et l'autre gris verdâtre. Cette roche est très-tenace; seule sur le fil de platine, elle fond en un verre opaque noir très-éclatant et légèrement attirable. Avec le borax, on ne voit bien que la réaction du fer, mais avec la soude on obtient une couleur vert-bleu très-intense. Dans le tube ouvert, je n'ai pas remarqué d'eau, mais il se sublime une matière blanchâtre et en même temps s'échappe beaucoup de fumée avec une forte odeur de soufre. Je présume que le fer et la manganèse sont dans cette roche à l'état de silicate.

N° 12. *Fer oxydé rouge.* — Ce minerai est en roche souvent caverneuse; il est parfois mélangé d'un peu d'oxyde hydraté. Il ne donne pas de réaction du manganèse et ne paraît pas renfermer de soufre. Il est exploité et donne, dit-on, du fer de bonne qualité. Il se trouve à Bân-gàc, dans la partie sud du Quâng-ngâi, à deux ou trois lieues seulement de la mer. Non loin de là se trouve du minerai résineux en grains.

N° 13. *Fer oligiste noir avec fer oxydulé magnétique.* — A l'état compacte, avec éclat vif et parfois un peu irisé; la cou-

leur rouge de la poussière ne se manifeste que lorsque cette poussière est très-fine, ce que l'on obtient d'ailleurs facilement en broyant un fragment de matière avec un peu d'eau dans le mortier d'agate. Si l'on promène un aimant sur la poussière, il attire quelque peu, ce qui prouve qu'il y a du fer oxydulé en mélange. Je pense que ce minerai doit être encaissé dans une roche schisteuse micacée ou talqueuse, car plusieurs échantillons en portent les empreintes à l'extérieur qui est onctueux comme ces roches. Ce minerai vient du Quâng-nam; on le trouve au pied et au versant nord de la montagne qui renferme le silicate de zinc dont j'ai parlé autrefois.

N° 13. *Sulfure de fer blanc et noir.* — Plusieurs fragments offrent des cristaux bien distincts; la forme est le prisme rhomboïdal droit sans modifications. Ces cristaux sont d'un blanc gris métallique avec une légère nuance bronze; ils étincellent au briquet. Plusieurs échantillons offrent une couleur noirâtre; alors on n'aperçoit plus de cristaux distincts, mais ils étincellent également au briquet. Les échantillons blancs et noirs passent insensiblement de l'un à l'autre. Seul sur le charbon, ce minéral donne une forte odeur de soufre, et lorsque cette odeur ne se fait plus sentir, la matière se fond en un globule noir de fer attirable. Ce bouton, essayé avec le borax, ne donne que les réactions du fer, c'est-à-dire couleur jaune à la flamme extérieure et couleur vert pâle à la flamme intérieure. Dans le tube ouvert, avec l'odeur de soufre, on remarque aussi parfois une légère odeur d'acide sulfhydrique; du soufre se sublime, mais au-dessus du soufre se sublime en quantité une matière blanchâtre qui forme une couche épaisse sur les parois du verre; par la chaleur, cette matière disparaît en donnant l'odeur de soufre; c'est donc un sulfure. Je n'ai jamais remarqué d'odeur d'arsenic; je n'ai pas trouvé non plus d'antimoine ni par voie sèche, ni par voie humide. Dans l'acide azotique étendu d'eau, ce sulfure se dissout même à froid; s'il n'est pas en poussière, il ne se dissout que très-lentement; mais s'il est en poudre fine, l'attaque a lieu de suite et vivement; la liqueur s'échauffe d'elle-même; on voit beaucoup de soufre surnager et se déposer. Si l'acide est concentré, l'attaque a lieu encore plus vivement; on voit encore du soufre surnager, et il lui faut encore beaucoup de temps pour se dissoudre entièrement dans l'excès d'acide. Dans les deux cas, il se répand une forte odeur d'acide sulfureux. Avec l'acide chlorhydrique, je n'ai pas remarqué qu'il se dégageât de l'acide sulfhydrique. Cette pyrite est engagée dans du quartz et provient du Quâng-nam de la partie nord, d'un endroit, m'a-t-on dit, où l'on trouve beaucoup d'or; c'est à peu près à une journée de la mer.

N° 14. *Autre sulfure de fer.* — Ce sulfure m'a paru assez semblable au précédent, mais je n'ai pu l'étudier autant; d'ailleurs je n'en ai eu que très-peu à ma disposition; il m'a paru avoir une couleur bronze plus marqué. Dans l'acide azotique même concentré la poussière est peu attaquée à froid; mais à chaud l'attaque devient vive comme pour le sulfure précédent et une très-faible chaleur suffit pour la développer. Il est aussi engagé dans du quartz. Il provient de Tho-san, dans la partie sud du Quâng-nam, à une demi-journée à peu près de la mer.

N° 16. *Silicate de zinc de Hàn-kêm.*

N° 17. *Sulfure de zinc de Nâng-san.*

Autrefois j'ai décrit ces minéraux; si je les avais eus cette année, j'aurai pu peut-être les essayer un peu mieux au chalumeau, car j'ai fait des progrès dans l'usage de cet instrument. De plus, je désirais en envoyer des échantillons, mais ces échantillons que j'attends tous les jours n'arrivent pas et l'envoi que je prépare va partir aussitôt que cette lettre sera terminée; ce sera donc pour une autre fois.

N° 18. *Oxyde de zinc tréphoïte.* — A l'œil nu la texture paraît granitoïde à gros grains; elle est très-tenace; cassure irrégulière; dureté telle que ce minéral raye facilement le verre et est rayé par le quartz. La couleur dominante est le noir analogue à celui des petits cristaux de sulfure du numéro précédent. Éclat hyalin vif et un peu résineux. Une autre couleur encore, mais moins commune que le noir, est la couleur blanche, pareillement avec éclat hyalin et résineux; ces deux couleurs sont mélangées de manière à donner au minéral un aspect noir tacheté de blanc. J'ai remarqué que dans quelques fragments beaucoup moins tenaces et ayant une tendance à l'état terreux la couleur blanche devient dominante ou au moins aussi commune que la couleur noire, mais alors les petits grains blancs perdent leur éclat hyalin et résineux pour

n'offrir plus qu'un blanc mat, tandis que les petits cristaux noirs ne changent pas. Quelques parties de la surface sont jaunâtres par suite de l'altération de l'oxyde de fer que contient ce minéral. D'autres endroits sont irisés; les jeux de couleurs ne se voient bien qu'à la loupe. La loupe fait aussi découvrir la structure lamellaire des parties noires, tandis que les parties blanches ne présentent que des grains irréguliers analogues à des grains de quartz; je dis analogues, car ce minéral ne renferme pas de quartz. Au tube, il ne donne pas d'eau. Avec le borax il donne la couleur jaune, et avec la soude il donne la couleur verte du manganèse. Seul sur le fil de platine, il fond en un globule non attirable. Soit par voie sèche, soit par voie humide, il donne toutes les réactions du zinc. Il vient encore du Quâng-nam, du centre de la province, à une journée à peine de la mer. C'est toutefois passablement plus au nord que le gîte des deux mines de zinc précédentes.

N° 20. *Argile à foulon.* — Cette argile est d'un gris sale lorsqu'elle est sèche et prend une nuance bleue lorsqu'elle est mouillée; elle existe à l'état de roche assez compacte; en poudre fine, elle est très-onctueuse; je n'ai pu la fondre au chalumeau; elle ne fait pas pâte avec l'eau; je pense que c'est une espèce d'argile à foulon. Elle est située sur la limite des deux provinces du Binh-dinh et du Quâng-ngâi, dans un endroit montagneux, c'est à Suâi-cà, un peu au nord de l'endroit d'où provient le lignite dont j'ai parlé au commencement de cette lettre.

N° 21. *Autre argile : kaolin.* — Elle vient de Quâng-ngâng, au Binh-dinh; c'est la plus belle argile que j'ai rencontrée jusqu'ici; je pense que c'est un kaolin propre à faire de belle porcelaine. J'en ai parlé autrefois dans une lettre, la première que j'ai eu l'honneur de vous adresser de Cochinchine. J'en envoie une petite caisse où elle est telle qu'on l'a tirée de son gîte. Dans une autre caisse se trouve un petit paquet marqué du n° 21 *bis*; c'est encore la même argile, mais débarrassée par lévigation de ses grains de quartz.

N° 19. *Carbonate de chaux celluleux.* — Texture celluleuse; les cellules s'aperçoivent même à l'œil nu, de manière que ce minéral offre un aspect persillé; il présente aussi un peu l'aspect fibreux radié. Sa couleur est le blanc-gris avec légère nuance de jaune. Avec les acides, il donne une vive effervescence qui se prolonge assez longtemps. Les habitants du pays s'en servent pour faire de la chaux. Il vient des bords de la mer, vis-à-vis Trâng-sôn, que j'ai désigné dans les n°s 8 et 9.

N° 25. *Pierre ponce.* — Elle vient de la même mer que le carbonate de chaux précédent; elle n'a rien de remarquable, si ce n'est qu'elle annonce qu'il y a eu des volcans dans le pays. J'ai interrogé les habitants sur ce point, mais personne ne connaît de volcan, ni personne n'en a jamais entendu parler. Il peut très bien arriver aussi que ces ponces proviennent de quelques îles éloignées; elles seraient amenées ici par les flots de la mer.

N° 22. *Quartz.* — C'est un fragment de quartz agate grossier, couvert et entremêlé de quartz plus ou moins terreux; il renferme de petites géodes d'agate plus belles, mais si petites qu'on ne les voit bien qu'au moyen de la loupe. On remarque aussi des endroits micacés, ce sont de très-petits points très-scintillants. Cet échantillon vient des environs de Trâng-sôn; du même endroit, j'ai reçu encore d'autres quartz : quartz hyalin transparent, quartz résinite rouge-rose très-fendillé et micacé, et quartz compacte; j'envoie seulement l'échantillon que j'ai sous la main au moment où je prépare mes petites caisses.

N° 26. *Carbonate de soude.* — C'est le carbonate de soude dont j'ai parlé il y a plusieurs années; alors je disais qu'on le trouve en Basse-Cochinchine; depuis j'ai appris qu'il y en a beaucoup au Binh-thuân, province formée de l'ancien Ciampa.

N° 24. *Sulfure d'antimoine et de fer avec résine.* — J'ai trouvé ce minéral, artificiel ou naturel, je n'en sais rien, dans la pharmacie chinoise du pays. S'il est naturel, il est assez extraordinaire; c'est pourquoi je l'envoie.

Lorsque j'ai fait la plupart des petits paquets qui renferment les échantillons que je viens de décrire, je n'ai pu toujours suivre un ordre convenable, car je les ai faits à différentes reprises et en différents endroits à mesure que les circonstances me le permettaient; maintenant en les décrivant j'ai suivi un ordre un peu plus naturel, c'est pourquoi celui des numéros est interverti; mais je n'ai nullement le temps de rétablir cet ordre, car je dois faire partir à l'heure même mes petites caisses, si je veux qu'elles vous soient expédiées

cette année et encore crains-je d'être en retard, et ce retard pour envoi d'effets serait d'un an, puisqu'une seule fois par an notre barque se rend à Singapore et encore n'est-ce pas sans courir bien des dangers. J'aurais encore plusieurs choses à dire, mais je dois renvoyer à une autre fois; il se présentera pour les lettres quelque occasion plus tard par les navires chinois, du moins je l'espère.

L'envoi que j'ai l'honneur de vous adresser consiste en trois caisses : une très-petite renfermant du kaolin, une autre un peu plus grande renfermant du charbon ou lignite avec une petite carte à l'adresse de M. Chamaison, enfin une troisième caisse renfermant tous les échantillons énumérés ci-dessus dans cette lettre; seulement il manque le silicate et le sulfure de zinc qui ne sont pas arrivés.

Sur l'industrie du fer aux États-Unis;

Par le professeur JOHN WILSON (1).

Le fer et la houille sont assurément les deux produits minéraux qui exercent la plus grande influence sur les destinées d'un pays. Ils servent pour ainsi dire de pivot à toute activité industrielle, ils constituent la base la plus large de toute fortune nationale.

Je vais essayer de résumer en peu de mots l'histoire de l'industrie du fer aux États-Unis. Cette histoire vous présentera les alternatives qui accompagnent ordinairement la création de toute industrie nouvelle; vous y trouverez tantôt des périodes de succès, tantôt des périodes de revers causés aussi bien par les exigences du fisc que par les influences commerciales.

C'est vraisemblablement dans l'État de la Virginie et vers l'année 1715 que la fabrication du fer a pris naissance aux États-Unis; avant cette époque, c'était la métropole qui approvisionnait les colonies de l'Amérique. Bientôt après, la fabrication du fer s'établit dans les États du Maryland et de la Pensylvanie. Un rapport adressé au Ministre de la Marine, par les

(1) Extrait par M. Delesse d'un travail lu le 28 février 1855, à la Société des arts, par M. le professeur Wilson, F. R. S. E., et publié par le *Journal of the Society of arts*, n° 119, vol. III, p. 247; 2 mars 1855.

officiers des constructions navales à Woolwich, nous montre qu'en 1738 l'industrie du fer avait déjà fait quelques progrès aux États-Unis.

Voici, en effet, ce que dit ce rapport :

« Nous avons reçu dernièrement des chantiers de Sa Ma-» jesté à Deptford 15 cwt. 24 livres de barres de fer ayant » 2 pouces 1/4 de largeur sur 1/2 pouce d'épaisseur, ainsi que » 5 cwt. 22 liv. de verges carrées ayant 7/8 pouce d'équar-» rissage. Ces fers ont été importés par MM. Cowley de l'Amé-» rique. Conformément à votre instruction du 11 juillet 1735, » nous les avons soumis à des essais : nous avons constaté » qu'ils sont très-bons et tout à fait propres au service de Sa » Majesté; ils sont même supérieurs sous tous les rapports au » meilleur fer de Suède et, dans notre opinion, ils valent » 17 liv. ster. 10 sh. 6 pen. la tonne. »

Cependant les progrès de la fabrication du fer aux États-Unis furent d'abord assez lents. Pendant une période de dix années, de 1740 à 1750, la production est en moyenne de 2.360 tonnes par année. Elle s'accroît graduellement pendant les vingt années suivantes, et en 1770 elle atteint le chiffre de 7.525 tonnes; elle dépasse alors le sixième de la quantité totale de fer qui était importée en Angleterre à cette époque.

Le pays s'étant calmé après avoir assuré son indépendance et les travaux de l'industrie ayant repris de l'activité, nous trouvons un progrès notable dans la fabrication du fer. En 1810, le nombre total des hauts-fourneaux dans les États de l'Union s'élevait à 153. Ces hauts-fourneaux produisaient 54.000 tonnes par an, ce qui, d'après la population de l'Union à cette époque donnait une production de 16 livres par tête. De 1810 à 1820, le commerce fut très-languissant et l'industrie du fer ne fit que peu de progrès.

En 1828, la production avait atteint le chiffre de 130.000 tonnes, de sorte qu'elle a plus que doublé dans l'espace de dix-huit années.

En 1829, elle s'élève déjà à 142.000 tonnes; par conséquent, d'une année à l'autre l'augmentation était à peu près de 10 p. 100.

En 1830, elle était déjà de 165.000 tonnes, en progrès de 16 p. 100 sur l'année précédente.

En 1831, la production montait à 191.000 tonnes, et en 1832, elle atteignait le chiffre de 200.000 tonnes; mais son augmen-

tation sur la production de 1828 était alors de 70.000 tonnes ou de 55 p. 100.

En 1840, la production totale serait de 286.903 tonnes, d'après le gouvernement; cependant, comme elle est estimée à 347.000 tonnes, d'après le rapport du comité de la ligue nationale (*Home League*) à New-York, on peut admettre pour la production réelle la moyenne de ces deux nombres; en sorte que la production se serait élevé à 315.000 tonnes, atteignant ainsi une augmentation de plus de 50 p. 100 dans les huit années.

En 1842, plusieurs usines suspendirent leurs travaux et la production descendit à peu près à 225.000 tonnes.

En 1846, le commerce redevint très-prospère et la production totale pour cette année fut estimée par le secrétaire de la Trésorerie à 768.000 tonnes; par conséquent la production avait triplé dans l'espace de quatre années. L'année suivante elle atteignit son maximum et elle s'éleva à 800 000 tonnes. La crise commerciale et financière de 1848 exerça une influence fâcheuse sur les transactions et sur les progrès de l'industrie du fer; car l'année 1848 nous montre une tendance vers la baisse dans la production; en 1849, cette baisse est de 150.000 tonnes et elle est encore de 100.000 tonnes en 1850. D'après le gouvernement, la production de cette dernière année aurait été de 54.000 tonnes; mais ce résultat est probablement un peu exagéré, car il résulte du rapport du comité de statistique de la société des maîtres des forges que la production dans l'État de Pensylvanie était seulement de 198.813 tonnes, tandis que le gouvernement la porte à 285.703 tonnes; il y a donc une différence en plus de 86.890 tonnes pour un seul État.

L'année suivante, l'industrie ayant repris un nouvel essor, un accroissement régulier se fait remarquer dans la production; les relevés de l'année 1853-54 présentent même un résultat satisfaisant, puisque la production s'élève au chiffre maximum qu'elle avait atteint antérieurement.

Les ressources de l'industrie du fer aux États-Unis sont très-grandes. En effet, les États situés sur les côtes de l'océan Atlantique et les États de l'ouest présentent sur toute leur surface des minerais de fer qui sont variés, abondants et très-riches. D'un autre côté, la grande étendue du terrain houiller assure le combustible pour tous les besoins de l'avenir. Les minerais de fer de ces États sont les mêmes qu'en Europe,

savoir: l'oxyde de fer magnétique, les hématites, le fer carbonaté spathique, le fer carbonaté lithoïde.

Le fer spathique, le fer oligiste spéculaire sont encore traités dans quelques États de la Nouvelle-Angleterre, mais leur exploitation est cependant peu importante.

La découverte faite tout récemment de riches gisements de houille qui se trouvent en contact avec des dépôts bitumineux du grand terrain houiller de l'Est, hâtera vraisemblablement le développement de l'industrie du fer dans cette contrée privilégiée.

Les oxydes magnétiques et les hématites sont répandus sur toute la surface de l'Union, depuis le Maine jusqu'au Texas et depuis les côtes de l'Atlantique jusqu'aux États les plus reculés de l'Ouest.

Les carbonates argileux sont associés aux couches de houille qui s'étendent à l'ouest des monts Alleghanys. En général ces derniers minerais ne sont pas aussi riches que ceux de notre pays; mais lorsqu'on les mêle avec les hématites hydratées qui se rencontrent aux extrémités du bassin houiller, leur exploitation est très-avantagense. Ils se trouvent aussi en dépôts considérables sur le versant atlantique des chaînes de montagnes qui traversent la Pensylvanie, le Maryland, la Virginie et la Caroline du Nord.

Les minerais de fer spathique se rencontrent principalement dans le Connecticut et dans le Vermont, où ils sont traités, d'après l'ancienne méthode, au charbon de bois et à l'air froid. Ils donnent un fer d'excellente qualité.

Les minerais de fer spéculaire se trouvent dans les États de la Nouvelle-Angleterre et de New-York; ils occupent une étendue qui est relativement limitée. Il paraît cependant que le fer spéculaire est très-abondant dans les États plus éloignés du sud et de l'ouest, tels que le Texas, l'Arkansas, le Missouri, l'Iowa et la Californie.

L'industrie du fer s'est développée d'abord dans les États de la Nouvelle-Angleterre, où le minerai et le combustible sont abondants et se trouvent réunis, où l'éducation, les habitudes et l'énergie du peuple étaient d'ailleurs si bien appropriés à tous les besoins de cette industrie nouvelle. Cependant la découverte de la houille dans l'État de la Pensylvanie créa bientôt une concurrence redoutable à la Nouvelle-Angleterre, et depuis 1820, époque à laquelle le combustible minéral fut pour la pre-

mière fois exploité et envoyé sur les marchés, la production du fer dans la Pensylvanie augmenta si rapidement qu'elle a fait de cet État le grand centre de l'industrie du fer et qu'elle lui a donné une sorte de suprématie sur tous les marchés indigènes. Cette suprématie n'a pas été perdue depuis et la Pensylvanie la conservera encore pendant plusieurs années, jusqu'à ce que les ressources plus considérables des États qui sont à l'ouest des Alleghanys soient suffisamment développées pour leur permettre de disputer la première place à leur voisin maintenant plus avancé. Les États à l'ouest des Alleghanys possèdent, en effet, des avantages naturels pour la fabrication du fer, qui sont bien supérieurs à ceux des États de la Pensylvanie. Dans toute leur étendue on y trouve généralement réunis les minerais de fer, la castine et la houille; tandis qu'en Pensylvanie on est obligé d'exploiter le minerai et le combustible dans des localités différentes.

Dans mon enquête récente sur l'industrie du fer dans les États de l'Union, j'ai dressé un tableau qui met bien en relief les avantages des principaux centres de cette industrie. Je vais en donner ici un résumé en faisant connaître en même temps la production de l'année 1853-54 et le prix de revient de la tonne.

Numéros.	DISTRICTS MÉTALLURGIQUES.	PRODUCTION.	PRIX DE REVIENT par tonne.
		tonnes.	dollars.
1	Houseatonic	10.000	20 à 25
2	Rivière Hudson	80.000	18 à 20
3	Delaware et Lehigh	120 000	16 à 18
4	Shuylkill	100.000	20
5	Susquehanna	120.000	15 à 18
6	Potomac	125.000	20
7	Ohio, Cumberland et Tennesee	150.000	20

A la production de ces districts métallurgiques qui sont délimités d'une manière bien nette, il faut ajouter 100.000 tonnes pour de nombreuses usines isolées. Ces usines sont principalement dispersées dans les montagnes des États voisins de l'océan Atlantique. Le combustible qu'on y emploie est généralement le charbon de bois. On y obtient un fer d'excellente qualité, mais il revient à un prix presque double du fer préparé par le combustible minéral.

On peut estimer que la consommation actuelle du fer aux

États-Unis est de 1.200.000 tonnes; ce nombre s'accorde bien avec celui de 88 livres par tête qui a été indiqué par M. Wœrn de Suède. La consommation est d'ailleurs trop élevée pour qu'il soit possible à la production indigène d'y suffire dans l'état actuel. La moitié environ de cette consommation est employée à l'état de fonte; le reste est transformé en fer marchand et donne lieu à un déchet qui est de près du tiers. La quantité de fer que les pays étrangers doivent fournir aux États-Unis est du reste de 500.000 tonnes. Le tableau suivant met en regard pour trois années différentes la production indigène et la quantité importée.

	1840.	1850.	1852.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Production indigène	286.903	564.755	500.000
Quantité importée	80.886	441.514	501.158

On voit que la consommation du fer aux États-Unis va en augmentant très-rapidement, et que par suite notre exportation pour ce pays augmente également.

Les documents publiés en 1851 et en 1852 par le ministère du Commerce nous apprennent d'ailleurs toute l'importance des relations commerciales que le fer seul nous crée avec les États-Unis. Il suffit, pour l'apprécier, de jeter les yeux sur ce tableau :

FER EXPORTÉ D'ANGLETERRE.	1851.	1852.
	tonnes.	tonnes.
Pour les États-Unis	464.559	501,158
Pour les autres pays	295.211	393.266

Il ressort de ce tableau que notre exportation de fer pour les États-Unis seulement, dépasse du tiers notre exportation pour tous les autres pays réunis.

Il importe assurément au plus haut degré de ne pas perdre un marché aussi important que l'est pour nous le marché des États-Unis. Or je suis bien convaincu, d'après la connaissance que j'ai de nos ressources, que nous l'approvisionnerons encore pendant plusieurs années; mais le temps durant lequel nous le conserverons dépendra entièrement de l'*économie de notre fabrication*.

Remarquons, en effet, que le prix du fer aux États-Unis est réglé par le prix du fer dans notre pays qui les approvisionne. Or la fabrication indigène peut lutter avec avantage contre la nôtre, tant que le prix de vente aux États-Unis ne tombe pas au-dessous de 20 dollars pour la fonte et de 50 dollars pour le fer en barres.

Dès que les prix s'abaissent au-dessous des limites que je viens de fixer l'avantage reste, au contraire, à notre fabrication et la production indigène est paralysée.

On peut estimer que la différence entre les prix du marché anglais et du marché américain est de 80 p. 100. Ce chiffre comprend, d'une part, les dépenses de transport, de commission et d'assurance qui sont à peu près de 50 p. 100 et, d'autre part, les droits de douane qui s'élèvent à 30 p. 100.

Les maîtres de forges des États-Unis sont donc garantis par une PROTECTION NATURELLE de 50 p. 100 qui existera toujours et par une *protection artificielle* de 30 p. 100 qui, comme tous les droits de douane, est sujette à des modifications.

Les droits de douane ont en effet subi divers changements ; ils ont été graduellement réduits, l'État laissant à l'industrie privée le soin de se protéger elle-même par ses progrès et par ses propres ressources. En 1815, le droit d'entrée sur la fonte a été fixé à 1,50 dol. par cwt. En 1818, il a été réduit à 50 c. par cwt. En 1828, ce droit a été légèrement élevé et porté à 62 1/2 c. par cwt. En 1830, il a été de nouveau fixé à 50 c. par cwt., et en 1842, il a été réduit à 9 dollars par tonne ; enfin, c'est en 1846 qu'on a établi l'impôt actuel *ad valorem* qui est de 30 p. 100. Ces différents changements ont influé sur le développement de la fabrication indigène ; mais les grandes variations que présentent les chiffres de la production annuelle doivent être attribués à d'autres causes ; la plus importante de ces causes paraît être la hausse ou la baisse du prix du fer sur le marché anglais.

L'industrie du fer aux États-Unis commence seulement à naître ; car elle date en quelque sorte de notre siècle. Son développement a été un peu irrégulier ; mais lorsqu'on remarque que dès à présent elle a atteint un grand degré de perfection, et que sa production égale déjà celle de notre pays il y a vingt ans ; lorsqu'on songe aux ressources immenses et inépuisables que la métallurgie du fer peut trouver aux États-Unis, à l'accroissement rapide de leur population, à l'énergie et à

l'intelligence des habitants de l'Union, on est forcé de reconnaître que le temps n'est pas éloigné où l'industrie du fer aux États-Unis produira non-seulement assez pour la consommation indigène, mais pourra même nous faire une concurrence sérieuse sur d'autres marchés importants du monde.

Dans les différents districts que j'ai parcourus, j'ai trouvé qu'on avait introduit tous les perfectionnements apportés à nos usines. Partout les usines à charbon de bois cèdent la place aux hauts-fourneaux plus économiques qui sont chauffés à l'air chaud et à l'anthracite.

La devise des maîtres de forges de l'Union paraît être : *Économie dans la fabrication.*

D'un autre côté, les qualités supérieures de leurs minerais et de leurs combustibles leur assurent toujours une bonne fabrication.

L'emploi des gaz perdus est général dans leurs usines. Il n'existe pas, comme chez nous, des divergences d'opinion sur le parti qu'il est possible d'en tirer.

On a également essayé d'utiliser d'autres produits très-encombrants et perdus jusqu'à présent, je veux parler des scories.

En soumettant ces scories à un recuit, elles deviennent très-résistantes et elles servent de matériaux de construction. Lorsqu'elles sont polies, elles peuvent d'ailleurs être employées pour l'ornement. Les échantillons que je présente viennent de l'usine de Dowlais.

Si ce procédé peut être appliqué avec succès sur une grande échelle, il nous procurera à peu de frais une matière très-utile, et dont le besoin se fait sentir chez nous ; de plus il nous permettra de tirer parti d'un produit perdu, qui actuellement occasionne même des dépenses inutiles à tous les maîtres de forges qui sont obligés de s'en débarrasser (1).

Un autre procédé récent en usage aux États-Unis est celui du

(1) En France et en Allemagne, on a cherché à plusieurs reprises à tirer parti des scories des hauts-fourneaux. M. Polonceau, inspecteur divisionnaire des ponts-et-chaussées, avait notamment fait une série de recherches intéressantes sur ce sujet à l'usine de Fraisans, dans la Franche-Comté. Nous avons nous-mêmes pris part à ces recherches. Le procédé de M. Polonceau consistait à couler les scories sortant du haut-fourneau dans un moule, au lieu de les laisser refroidir à l'air, ce qui y occasionne toujours des fendillements ; il les soumettait ensuite à un recuit dans un four à réverbère. Par l'action du recuit, ces scories perdaient leur structure vitreuse, elles devenaient

traitement direct du minerai de fer. En 1851, M. Renton a pris un brevet pour ce procédé, qui est employé maintenant à Cincinnati et à Newark (New-Jersey). J'en ai donné une description détaillée dans mon rapport au Gouvernement de la Reine. Un procédé à peu près semblable de M. Harvey est mis en usage à Motthaven (New-York); les résultats obtenus sont également satisfaisants.

Dans les deux procédés, on traite le minerai en le mêlant avec une certaine proportion de combustible. Le minerai et le combustible sont tous deux réduits à l'état de poudre grossière, et on élève la température autour du foyer qui contient le mélange. Le combustible devient alors incandescent et brûle aux dépens de l'oxygène des minerais; le fer métallique reste mêlé avec les substances étrangères qui se trouvaient dans le minerai. Le minerai ainsi réduit descend par un petit conduit jusque dans le fourneau préparé à l'avance, et il est soumis à une température suffisamment élevée pour que le fer devienne pâteux; ce fer est alors travaillé comme dans le four à puddler, tiré en lopins, puis martelé. On réalise par ce procédé une économie considérable, parce que les dépenses de combustible et de main-d'œuvre n'excèdent pas de beaucoup les frais ordinaires de puddlage. En même temps on obtient un fer de qualité supérieure; car la température à laquelle s'opère l'action de désoxydation n'est pas assez élevée pour produire la combinaison du fer, soit avec le carbone du combustible, soit avec la silice, le soufre et le phosphore qu'on trouve ordinairement dans la fonte. D'après les renseignements qui m'ont été donnés, le procédé de Renton sera prochainement employé dans les forges de Llynvi-Valley dans le sud du pays de Galles. Les coupes des fours montrent bien quelle est leur disposition, et je mets en même temps sous les yeux de la Société des Arts, les produits obtenus par ce procédé, ainsi que les principaux minerais qui servent à fabriquer le fer aux États-Unis.

---

opaques et plus ou moins cristallines, elles s'agrégeaient par des actions moléculaires : elles étaient alors très-résistantes et elles pouvaient être employées très-avantageusement comme matériaux de construction. Elles prenaient même très-bien le poli et on y observait des marbrures qui permettaient de s'en servir utilement pour des dallages. Plusieurs essais de ce genre ont été entrepris; mais quoi qu'il en soit, jusqu'ici cette fabrication des matériaux de construction avec les scories des hauts-fourneaux n'a pas eu lieu sur une grande échelle et d'une manière régulière. D.

Les oxydes magnétiques, qui sont les plus riches de tous les minerais de fer, se trouvent quelquefois en abondance à proximité des côtes des États-Unis; aussi, suis-je porté à croire que dans un grand nombre de cas, ils pourraient être employés dans quelques-unes de nos usines qui manquent de minerai; ils contribueraient ainsi à augmenter la quantité de leurs produits, et ils amélioreraient en même temps leur qualité.

Sur l'industrie minérale dans les provinces d'Atacama et à Concepcion (Chili).

Grâce à la paix inaltérable dont jouit le Chili depuis plus de vingt ans, on y remarque un progrès général qui s'étend rapidement dans toute la république. Sans vouloir parler aujourd'hui de ce qui a rapport particulièrement à la capitale, je me bornerai à fournir quelques renseignements statistiques sur le nord et le sud, c'est-à-dire sur les deux provinces d'Atacama et de Concepcion.

Pour ce qui regarde la première, les mines d'argent de Copiapo ont pris un tel développement, que dans le mois d'avril dernier on en a exploité 114 avec 2723 ouvriers mineurs.

Les mines suivantes ont produit en minerai d'argent 15.813 quintaux et 8 livres, savoir :

	quintaux.
Bocona	273,00
Volaco	742,00
Colorada	426,75
Constanzia	994,00
Descubridora	6.991,59
Delirio	28,00
Esperanza	913,56
Guanaca	105,00
Loreto	184,50
Manto de Ossa	73,50
Manto Peralta	1.435,50
A reporter	12.167,40

Report	12.167,40
Manto de Cobo	378,00
Rosario primera	56,00
San Francisquito	1.528,50
San José	84,00
San Francisco Viejo	301,40
San Francisco Nuevo	675,78
Santo Domingo	352,25
Valenciana	198,00
Solitaria primera (Bandurrias)	59,50
Cerro Negro	12,25
Total	15.813,08

Sur le point nommé : Mineral de Tres Puntas, sont en plein rapport les mines Al fin Hallada, Salvadora, Buena Esperanza, Victoria et Republicana, et trois nouvelles mines donnent de grandes espérances.

L'exploitation de 99 mines avec 812 mineurs y a donné dans le même mois d'avril le résultat suivant :

	quintaux.		quintaux.
Al fin hallada	1.125,00	*Report*	4.084,59
Buena Esperanza	2.524,50	Descubridora del Inca	4,50
Mercedes del Nudo	132,00	Guias del Norte	32,00
Lola Montes	10,50	Magdalena	64,00
Luz del Pilar	168,09	Providencia	24,00
Guia de San Francisco	49,00	Buena Vista	40,00
Janequeo	74,00	Cobriza	48,00
Merceditas	1,50	Carolina	363,00
A reporter	4.084,59	Total	4 664,09

Outre le chemin de fer entre le port de la Caldera et le chef-lieu Copiapo, on en a ouvert un nouveau destiné à relier cette dernière ville avec les fameuses mines de Chañarcillo. Il est maintenant en plein exercice, et a pris une telle importance, que le gouvernement vient de décréter la fondation d'une nouvelle ville sous le nom de San Guillermo, à l'endroit même où vient aboutir cette dernière ligne.

Le nombre des navires qui entrent et séjournent dans le port de Talcahuano s'est tellement augmenté que, pour en donner une juste idée, il me suffira de consigner ici la valeur des provisions consommées dans ce port par les navires baleiniers pendant l'année 1854 et les quatre premiers mois de 1855.

Pendant l'année 1854, ils ont payé :

	piastres.	francs.
A la maison de M. Cunningham	211.422	soit 1.057.110
A MM. Coffin pour ladite année	45.000	225.000
Aux mêmes jusqu'à la fin d'avril de l'année courante	112.200	561.000
A MM. Keen, Crosby et compagnie pour l'année 1854	63.496	317.480
A ladite maison jusqu'à la fin d'avril 1855	30.591	152.955
A la maison de M. Bunster pendant l'année 1854	8.750	43.750
A ladite maison pour l'année courante	6.049	30.245
Total	477.508	2.387.540

Ainsi donc, en dix-huit mois, ces navires ont dépensé en provisions la somme de 477.508 piastres, soit 2.387.540 francs. Il faut remarquer que dans cette somme ne sont pas comprises les dépenses particulières des équipages qui ne laissent pas aussi d'être considérables.

Je ferai observer en même temps que dans les sommes susénoncées, les quatre premiers mois de cette année entrent pour une valeur supérieure à celle de toute l'année 1854, ce qui est dû en grande partie aux nouvelles franchises de la douane; aussi le gouvernement est-il disposé à y ajouter toutes les mesures capables de favoriser cette prospérité croissante.

Comme preuves surabondantes de ce grand développement maritime et commercial, j'ajouterai que le chef d'une entreprise destinée à établir par le détroit de Magellan une ligne de bateaux à vapeur entre Liverpool et les côtes du Chili jusqu'à la Caldera, vient d'arriver à Valparaiso, et qu'il se propose, au lieu d'un voyage toutes les six semaines, suivant sa promesse au gouvernement, d'en faire un chaque mois. Il a annoncé que pour ce service on avait déjà construit trois bateaux à vapeur de 1800 tonneaux, et qu'on allait en commencer deux autres.

MM. Consiño et Garlano ont aussi fait construire en Angleterre un bateau à vapeur de 268 tonneaux destiné à la navigation entre Valparaiso et les ports du sud. Ce bateau vient d'arriver après une traversée de 63 jours, avec relâche à Rio de Janeiro.

Les Américains du nord, comprenant les immenses avantages qu'ils peuvent retirer d'une ligne directe de bateaux à vapeur entre Panama et le Chili pour le rattacher à New-York, viennent, afin de réaliser ce projet, de former une compagnie qui a réuni immédiatement les fonds nécessaires à cette entreprise. Pour le moment, il y a déjà deux bateaux qui fonctionnent et font concurrence à la ligne anglaise.

Il vient de se former à Santiago une compagnie composée des principaux propriétaires du pays, dans le but d'établir aussi un chemin de fer entre cette ville et celle de Talca, une des plus importantes du sud. Ce projet ne tardera pas à être mis à exécution. La province de Talca étant limitrophe de celle de Concepcion, il est à croire que ce chemin de fer ne tardera pas à se prolonger jusqu'à cette dernière ville; et comme on en construit un entre celle-ci et Talcahuano, l'importance déjà si considérable de ce port en recevra un sensible accroissement. On est tellement persuadé qu'un grand avenir se prépare pour ce port, que déjà l'Angleterre, les États-Unis, la Belgique et le Pérou y ont nommé des consuls.

Tel est l'état actuel de la marche progressive du nord et du sud du Chili.

(*Extrait d'une dépêche adressée à M. le ministre des affaires étrangères, par M.* GAZOTTE, *consul de France au Chili, sous la date du* 30 *mai* 1855.)

Sur des recherches de mines au Brésil.

Le rapport annuel présenté à l'ouverture de la session par le ministre de l'intérieur (*ministro do imperio*) à l'assemblée législative contient, sous les titres *Exploitation des mines*, *Industrie*, des renseignements qui ne manquent pas d'intérêt.

Dans le chapitre relatif à l'exploitation des mines, le ministre rappelle les essais qui ont été faits l'année dernière des produits de la mine de charbon découverte à Herval, dans la province de Rio-Grande. Ces essais n'ont pas eu de résultats satisfaisants, le charbon ayant été reconnu de qualité inférieure; mais les échantillons qui ont servi aux épreuves provenaient des couches supérieures, et M. Ferraz fait observer avec raison qu'il faut, pour se prononcer sur la valeur réelle de la mine d'Herval, avoir soumis aux mêmes épreuves les charbons des couches inférieures. L'exploitation en a donc été continuée, et j'ajouterai (ce dont le rapport ne parle pas) que les travaux primitivement confiés à un simple contre-maître mineur anglais, sont aujourd'hui sous la direction d'un véritable ingénieur.

Dans les provinces de Saint-Paul et de Rio-de-Janeiro on a fait également des explorations sur quelques indices qu'on avait cru annoncer la présence du charbon de terre, mais elles n'ont encore rien produit.

Le président de la province de Ceará a envoyé à Rio des échantillons d'un minéral trouvé dans ce pays, et qui paraît être argentifère. La commission chargée de les examiner ne s'est pas encore prononcée.

Cette même province produit, à ce qu'il paraît, du salpêtre en abondance, de la potasse, une teinture comparable à la pourpre, et, parmi d'autres produits minéraux, des pierres précieuses.

Le président de la Province de Bahia a envoyé des échantillons d'un minéral provenant du district de Nazareth, et qu'il

supposait être du minerai de fer: vérification faite, il s'est trouvé que c'était du manganèse. Sur plusieurs points de cette même province on a rencontré de la pierre de taille, de l'ocre rouge, de la couperose, des bitumes, et enfin des schistes noirs, des lignites schisteux et de l'anthracite, mais pas jusqu'à présent de mines de charbon.

Les terrains aurifères situés entre les fleuves Turgassu et Gurupy, sur une étendue considérable, ayant été reconnus fort riches, une compagnie s'est formée récemment à Rio-de-Janeiro pour les exploiter, et elle s'est mise en mesure de commencer immédiatement ses travaux à l'aide d'ouvriers assez nombreux, renforcés par 40 Chinois envoyés de Rio.

(*Extrait d'une lettre adressée à M. le ministre des affaires étrangères par M.* BREUIL, *consul de France à Rio-de-Janeiro, 4 juillet* 1855.)

Sur les conditions économiques de l'industrie de l'acide borique.

L'année dernière, sur la proposition de M. Dumas, membre de l'Institut, l'Académie des sciences se préoccupant tout à la fois, et du prix élevé de l'acide borique et des besoins d'un grand nombre d'industries pour lesquelles l'emploi de ce sel est aujourd'hui de nécessité première, arrêta la rédaction d'un programme ayant pour but d'appeler l'attention des chimistes sur un problème dont les termes peuvent se résumer dans la proposition suivante: « Chercher des analogues ou des suppléants à l'acide borique. »

L'Académie décida en outre que des prix d'une certaine importance devaient être accordés à ceux qui auraient rempli les conditions de ce programme.

Dès que j'eus connaissance de ces faits, je jugeai qu'en ma qualité de consul général, dans le pays d'où jusqu'à ce jour on a retiré l'acide borique, je devais, dans les limites de ma sphère, étudier cette question au point de vue de l'intérêt français.

C'est ce sentiment d'un devoir à remplir qui me détermine à fournir aujourd'hui quelques renseignements sur ce sujet.

Je ne ferai pas ici l'historique de l'industrie de l'acide borique en Toscane; divers écrits lus à l'Académie des sciences ont à

peu près tout dit sur le mode d'exploitation des terrains volcaniques, dont les vapeurs apportent l'acide borique recueilli par voie de concentration dans les eaux qui le contiennent en dissolution. Je parlerai moins encore de sa formation mystérieuse et complétement inexpliquée, d'une manière satisfaisante du moins; je ne mentionnerai ni l'importance des établissements qui existent, ni le personnel qu'ils occupent, puisque des documents imprimés, faciles à consulter, répondent à tout ce que l'on désirerait savoir à cet égard; je me bornerai à traiter la question sous son aspect commercial. Toutefois, je rappellerai sommairement :

1° Que jusqu'en 1818, date à laquelle remonte la création de cette industrie en Toscane, on n'avait connu dans le commerce qu'un *borate de soude naturel*, venant de l'Inde, vendu sous le nom de Tinkal, contenant de la soude en excès, et qui, pour être employé, nécessitait un raffinage;

2° Que jusqu'à ladite époque, la Hollande avait eu le monopole exclusif de ce produit;

3° Que le jour où les vapeurs volcaniques de la Toscane fournirent de l'acide borique *à l'état libre*, et non plus à celui de combinaison avec la soude, comme le Tinkal, le premier de ces produits fit reculer le borate indien et se substitua à lui victorieusement;

4° Que la consommation, très-restreinte à l'origine, prit un développement sans cesse croissant, au fur et à mesure que de nombreuses applications réclamaient l'emploi de ce sel;

5° Que nombre d'industries trouvèrent dans le nouvel agent un puissant auxiliaire, et lui durent de précieux perfectionnements;

6° Qu'enfin, aujourd'hui, la production n'est plus en rapport avec les besoins de la consommation.

Cette production est actuellement en Toscane de 1.200.000 kilogrammes par an; elle ne peut faire face à la demande, et il arrive dès lors ce qui se voit toujours en pareille circonstance, c'est-à-dire une forte élévation de prix.

Une autre cause très-fâcheuse, très-nuisible à notre industrie, détermine encore l'exagération des prix; c'est que le producteur toscan (M. le comte de Larderel) a aliéné pour longtemps *la totalité de ses produits*, sans aucune réserve, et qu'il en résulte un véritable monopole au profit de ses acheteurs.

Or, ses acheteurs sont anglais; dans cette affaire, ainsi que

dans beaucoup d'autres, l'Angleterre a su s'emparer habilement de ce que la France a refusé de prendre quand on le lui a offert; il suit de là qu'elle nous rend tributaires pour le produit dont il s'agit, et qu'elle fait supporter à notre industrie les conséquences de son pesant monopole. Elle achète à bas prix, et revend très-cher.

Lorsque le commerce de l'acide borique était libre, le gouvernement français, dans le but de protéger la soude indigène et la main-d'œuvre nationale, avait établi sur le borax de provenance étrangère des droits que l'on peut considérer comme prohibitifs, tandis que l'acide borique, *matière première*, arrivait sur nos marchés moyennant le payement d'une simple taxe de balance.

Mais aujourd'hui, par le fait du monopole anglais, cette législation est impuissante à protéger le travail national et les soudes indigènes, puisque les Anglais, seuls détenteurs de l'acide borique, seuls fabricants du borate de soude par conséquent, mettent la France dans cette alternative ou de se passer de borax, ou de le payer fort cher, ou de supprimer les droits protecteurs qui en interdisent l'importation.

L'anéantissement de ces droits est le but évident du monopole anglais. Cependant, pour dissimuler leurs vues, les Anglais n'ont pas voulu paraître refuser complétement l'acide borique aux autres pays; seulement, ils ont établi un prix uniforme pour cet acide, *matière première*, et pour le borax, *produit manufacturé;* l'un et l'autre se vendent à Liverpool 225 fr. les 100 kilogrammes, tandis que le premier revient à peine à 100 fr.

Sans doute, les droits d'importation établis en France, quel qu'en soit le chiffre, contribuent encore à grever d'autant plus notre consommation; mais il n'est pas certain que leur suppression lui fût très-profitable, car il y a lieu d'examiner si, le jour où le marché français serait livré aux Anglais, le monopole n'augmenterait pas immédiatement son prix, déjà si onéreux, de 225 francs par 100 kilogrammes. Ce que l'on peut avancer dès à présent avec certitude, c'est qu'une concession de cette nature ne lui ferait pas réduire ses prétentions.

Cette situation critique dans laquelle se trouve notre industrie par rapport à un produit dont elle ne peut plus se passer, lui a arraché des plaintes légitimes; l'Académie des sciences, avons-nous dit, s'en est émue la première, et, aujourd'hui,

la société d'encouragement met au concours des problèmes dont la solution, si on peut l'obtenir, remédierait au mal. Qu'il me soit permis d'offrir un faible tribut à cette œuvre éminemment patriotique et d'examiner si l'on doit rationnellement espérer des résultats pratiques des termes dans lesquels la question a été posée.

La société d'encouragement invite les chimistes à se livrer à la recherche de produits nouveaux qui remplaceraient le borate de soude et l'acide borique, et signale notamment les phosphates à leur attention. Je renonce à aborder cette question, pour laquelle je me reconnais tout à fait incompétent. Je me bornerai donc à hasarder quelques appréciations seulement sur la seconde partie du programme qui décerne des récompenses à ceux qui découvriront en France, ou dans les possessions françaises, des gisements exploitables d'acide borique, et une médaille à qui introduira chez nous des matières autres que le tinkal brut et l'acide borique de Toscane, en quantité suffisante pour une exploitation régulière.

Les encouragements proposés ont-ils d'abord une importance suffisante pour stimuler l'ardeur et l'activité privées? Je ne le pense pas, et voici les raisons sur lesquelles je base mon opinion à cet égard :

Si un homme était assez heureux pour rencontrer des gisements exploitables d'acide borique en France ou ailleurs, il trouverait dans cette découverte des éléments de fortune qui lui feraient attacher peu de prix à une faible rémunération, et il n'est pas probable, en tout cas, que l'appât d'une minime récompense suffise pour déterminer des recherches qui entraîneront forcément un sacrifice de temps et des frais de déplacement. Je crois donc qu'à cet égard le prix et la médaille offerts n'exciteront pas l'émulation, à moins que le gouvernement, venant en aide aux ressources limitées de la société d'encouragement, n'augmente de beaucoup l'importance de ces offres.

Un coup d'œil rétrospectif est nécessaire ici pour éclairer la situation.

Dans les traités de chimie publiés depuis assez longtemps déjà, on trouve signalé la présence du borate de soude brut dans l'île de Ceylan; dans la Tartarie méridionale; en Transylvanie, en Hongrie, dans la basse Saxe; dans les mines de Viquintizoa et d'Escapa, province de Potosi; dans les lacs du Sind. Cependant, malgré cette constatation, il ne paraît pas

que l'industrie ait, jusqu'à présent, exploré ces contrées, ni cherché à en rien tirer, et l'Inde seule nous a envoyé son tinkal en quantité plus ou moins considérable, selon la faveur que ce produit trouvait sur le marché européen. Ainsi, depuis que les besoins de la consommation ont prouvé l'insuffisance de l'acide borique, il s'en est fait de Calcutta en Europe des expéditions importantes, et, dans le cours de l'année dernière, il en a été chargé à ce point de départ près de 250.000 kilogrammes, *dont une très-faible partie pour la France*, attendu que les possesseurs du monopole anglais, pour éviter une concurrence, ont le soin de faire acheter sur place et à l'avance la presque totalité de ce qui descend sur le marché de Calcutta.

Je dis avec intention : « qui descend », car des renseignements positifs que je possède sur l'Inde m'apprennent que le tinkal arrive à Calcutta *des provinces d'en haut*, et principalement du district nommé Futtyghier, au nord d'Agra. Ces mêmes informations établissent encore que le prix du tinkal a presque doublé depuis deux ans, et que cette hausse pourrait attirer de plus fortes quantités sur le marché de Calcutta; mais on ajoute qu'une maison de cette ville est chargée par son correspondant d'Angleterre de s'emparer de tout ce qui arrive. C'est le monopole de l'acide borique qui tend encore à monopoliser le tinkal.

Il y a peu d'espoir, par conséquent, que l'adoucissement apporté à notre tarif douanier en faveur du produit indien puisse nous en procurer une importation plus considérable; car, suivant toute probabilité, si des Français voulaient disputer sur les lieux le tinkal aux monopoleurs de l'acide borique toscan qui l'y accaparent, ces derniers ne le leur céderaient qu'à des prix plus élevés que ceux auxquels ils vendent l'acide borique à Liverpool.

Quant à la découverte de nouveaux gisements, il ne paraît pas vraisemblable qu'elle soit possible en France, ou du moins que ces gisements s'y présentent dans des conditions qui en permettent l'exploitation. Il suffit pour concevoir les doutes que j'exprime à cet égard d'avoir observé ce qui se passe en Toscane relativement à la production de l'acide borique, et d'avoir recueilli au dehors, sur les diverses questions géologiques qui se rattachent à ce phénomène, certaines informations que je vais exposer sous toutes réserves.

Ainsi, il semble démontré que partout où se trouve un volcan, se trouve l'acide borique. Des constatations récentes viennent à l'appui de cette opinion. Il paraît qu'on le rencontre également dans toutes les eaux thermales, et qu'un grand nombre de localités en Allemagne donnent des indices de sa présence que l'on a supposé longtemps n'exister que dans les *suffioni* toscans.

Il est de même très-probable que depuis le Vésuve jusqu'en Toscane existent des gisements, sans solution de continuité, d'où proviennent les vapeurs, que dans les États romains on voit sortir du sol de Puzzole et de sa solfatare; que l'on retrouve en approchant de Sienne, et dont enfin le grand foyer se reconnaît dans la province de Volterra en Toscane, seul point où ces vapeurs soient soumises à une exploitation industrielle, parce que là seulement elles se trouvent dans des conditions qui s'y prêtent.

Ces conditions d'exploitation ne se sont, jusqu'à présent, rencontrées nulle part ailleurs, et ne paraissent pas exister même aux environs des établissements de M. le comte de Larderel, car des Français qui, depuis plusieurs années, cherchent à faire concurrence à cet industriel éminent, ont en vain employé le sondage artésien auprès d'une de ses principales fabriques (celle de Monterotondo); ils n'ont pu obtenir que des jets de vapeur qui disparaissaient au bout de quelques jours, et leurs travaux sont restés sans résultats. Je suis informé que, répondant à leur appel, une compagnie de capitalistes s'est formée à Marseille pour continuer les recherches sur une plus grande échelle, et à l'aide de moyens perfectionnés.

Si donc, les terrains volcaniques sont la condition *sine quâ non* de la présence de l'acide borique, ce sel ne peut se trouver en France que dans les eaux thermales; et il y a loin de sa simple reconnaissance à plus ou moins petite dose, à une exploitation profitable.

Par terrains volcaniques je n'entends pas parler des volcans en action, mais plus spécialement des volcans éteints.

Ainsi l'Amérique du Sud, dans laquelle M. Lecanu a découvert des borates de chaux, mériterait d'être l'objet d'une investigation particulière. Je suis déjà renseigné d'une manière encore incomplète, il est vrai, mais cependant assez intéressante sur les gisements qu'elle renferme.

Le borate de chaux et de magnésie signalé par M. Lecanu,

dans cette partie du monde, existerait en quantités importantes, m'assure-t-on, dans les terrains où s'exploite le nitrate de soude, province d'Atacama, au Pérou, près du port d'Iquique. Ces localités présentent l'aspect de terrains bouleversés, et partout on y reconnaît la présence d'anciens volcans.

Ce borate de chaux et de magnésie est riche en acide borique, mais il ne saurait y avoir convenance à le transporter en Europe, parce que le fret serait trop élevé, puisqu'il ne porterait pas seulement sur l'acide borique *à l'état libre*, mais sur une combinaison de produits d'une valeur inférieure. Je crois donc que, sous ce rapport, le programme de la société d'encouragement laisse à désirer lorsqu'il parle d'importation en France de *matières en quantité suffisante pour établir une exploitation régulière*. Il serait beaucoup plus simple de traiter sur les lieux le minéral en extrayant l'acide borique qu'il contient, ou, mieux encore, en formant de suite du borate de soude.

Telles sont, du moins, les appréciations qui résultent pour moi des nombreux renseignements que je me suis procurés.

J'ajouterai, à l'égard des borates de chaux et de magnésie péruviens, que l'on me donne comme certain que le gouvernement local établit une législation d'après laquelle leurs gisements appartiendront à l'État bien que découverts dans des propriétés particulières.

Peut-être serai-je prochainement en mesure de fournir de nouvelles et plus complètes informations sur cette industrie qui tend à se développer dans ces lointaines régions.

(*Extrait d'une dépêche de* M. Ch. de Sénevier, *consul général de France à Livourne.* — 15 février 1854.)

Appendice à la notice précédente.

Informé que M. le ministre du commerce recevrait avec plaisir des renseignements sur les gisements de borate de soude et de magnésie au Pérou, je me suis occupé de recueillir ces informations faisant suite à mon rapport du 15 février 1854. Je regrette seulement qu'elles ne soient pas tout à fait aussi précises que je le désirerais; mais je ne désespère pas de pouvoir plus tard les compléter, et je crois, en attendant, devoir les transmettre telles que j'ai pu me les procurer.

Le Pérou, ainsi que quelques autres localités, continue à envoyer en France et en Angleterre des borates de magnésie plus ou moins riches. La chimie industrielle ne cesse, depuis dix-huit mois, de rechercher le moyen le plus économique d'en extraire l'acide borique. Mais, en admettant que l'on découvre ce procédé, il est encore assez douteux que l'on arrive, par son seul moyen, à pouvoir se procurer l'acide borique américain à un prix suffisamment modéré, le transport en Europe entraînant de trop grandes dépenses.

Le fret, en effet, ne porte pas seulement sur la matière utile, mais sur le minerai brut qui contient au moins 60 p. 100 de parties à éliminer. Il est donc probable que l'on ne tirera un parti réellement avantageux des gisements péruviens que lorsque, les exploitant sur les lieux mêmes, on pourra n'envoyer en Europe que l'acide seul.

Il est permis de croire que l'on tentera un jour ou l'autre cette entreprise, car les applications de l'acide borique à l'industrie se multiplient tellement qu'il devient nécessaire que la production augmente; telle qu'elle est, elle ne se trouve déjà plus en proportion des besoins.

Un fait qui, mieux que tout autre, prouve combien se généralyse l'emploi de cet acide, c'est la réapparition du *tinkal* sur les marchés français et anglais. Le tinkal, comme je l'ai dit dans mon précédent rapport, avait presque cessé de se montrer en Europe, depuis l'extension donnée par M. le comte de Larderel à l'exploitation des vapeurs volcaniques de la Toscane. La spéculation recommence actuellement à demander cet article à l'Hindoustan, et il en est arrivé pendant les dix derniers mois environ 600.000 kilogrammes, dont 100.000 ont été pris par la France et le reste par l'Angleterre. Ce chiffre parle haut, quand on songe que la production toscane est d'environ 1.500.000 kilogrammes, et qu'il y a quatre ou cinq ans seulement, un million de kilogrammes suffisait largement à toutes les exigences des différents marchés.

Il importe toutefois de remarquer que l'excessive cherté dans laquelle la maison Anglaise Lhoyd maintient l'acide toscan qu'elle monopolise, est la cause principale du retour du tinkal, dont autrement l'importation serait rendue impossible par l'élévation des frais de transport. Il en sera sans doute de même pour les borates de magnésie du Pérou, tant qu'on ne les traitera pas sur les lieux.

Le cours élevé de l'acide borique a même, à ma connaissance, déterminé plusieurs grands fabricants de poterie à ne plus en faire usage, et à revenir de préférence aux anciens moyens, tels que l'oxide de plomb. Mais, si dans leurs établissements (parmi lesquels je citerai celui de M. Ettzscheider) la consommation de l'acide borique a diminué ou entièrement cessé, l'emploi du borax s'est au contraire tellement multiplié et se trouve aujourd'hui appliqué à tant d'industries, qu'en définitive la consommation générale a notablement augmenté.

(*Extrait d'une dépêche postérieure de M.* CH. DE SÉNEVIER, 28 *juillet* 1855.)

Sur la législation des mines dans l'État de Vénézuéla.

Bien que le sol du Vénézuéla soit essentiellement agricole, il ne renferme pas moins de nombreuses mines qui augmenteraient considérablement la richesse territoriale de cette république si elles étaient exploitées.

On compte dans ce pays plus de 60 mines connues; ces mines sont réparties dans onze provinces de la manière suivante :

Caracas en compte	6	d'or, de fer, de mercure, de cristal, de soufre et de plâtre.
Aragua.	6	de houille, de cristal, d'albâtre, de cuivre et de plâtre.
Carabobo.	7	d'or, de fer, de houille, de cristal, de soufre, de cuivre, de plâtre.
Burquisimeta. . . .	6	d'or, d'argent, de cristal, de cuivre, d'étain et de plomb.
Coro.	5	de fer, de houille, de soufre, de bitume et de cuivre.
Maracaïbo	3	de houille, de cristal, et de bitume.
Merida.	6	d'argent, de houille, de cristal, de soufre, de bitume et de cuivre.
Guarico.	3	d'or, de cristal et de soufre.
Barcelonne.	5	de fer, de mercure, de houille, de soufre et de plomb.
Cumana.	6	d'or, d'argent, de mercure, de houille, de soufre et de bitume.
Guyane.	7	d'or, d'argent, de mercure, de houille, de cuivre et de plomb.
Total. . . .	60	

Il y a en outre, dans la province de Cumana, des mines de kaolin, pour la fabrication de la porcelaine, et de tripoli, pour polir les glaces et métaux. Dans l'île de Pedernales, il y a aussi de l'asphalte ou bitume de Judée.

Cinq provinces, savoir : Apure, Marguerite, la Portugaise, Barinas et Trujillo, n'ont pas encore été explorées.

La Marguerite était autrefois très-renommée pour ses pêcheries de perles ; aujourd'hui les huîtres perlifères sont devenues très-rares et cette pêche est presque insignifiante.

Quant à la législation concernant la propriété et l'exploitation des mines, le Vénézuéla a été régi jusqu'à ce jour par un mélange de lois et de décrets hétérogènes, tels que les lois de la *Récopilation* des Indes, les 54 chapitres de l'ordonnance de la Nouvelle-Espagne, du 22 mai 1783, déclarés en vigueur par le congrès de Vénézuéla le 29 avril 1832, et les dispositions législatives et gouvernementales de la Colombie.

Toutes ces lois étaient incohérentes et d'une application difficile sous les institutions actuelles du pays ; elles se trouvaient d'ailleurs répandues dans des collections diverses qui n'avaient aucun rapport entre elles.

Une ordonnance royale de Philippe II, en date du mois de juin 1568, permettait à tout individu de retirer de l'or, de l'argent, du mercure et autres métaux, par lui-même ou au moyen de ses serviteurs ou esclaves, de toutes les mines qu'il trouverait et d'où bon lui semblerait.

La loi Ire, titre X, livre VIII de la *Récopilation* des Indes, imposait la contribution du cinquième de l'exploitation de l'or et de l'argent en faveur du fisc ; mais afin d'encourager le travail des mines, une autre loi postérieure déclara exempts de cette contribution les lavoirs d'or connus sous le nom de *masamorreros*.

La loi du même titre et du même livre de la *Récopilation* indienne imposa aux mineurs de cuivre, d'étain, de fer, etc., etc., l'obligation de payer au trésor royal le dixième de leurs produits nets, pendant les dix premières années de leur exploitation, laissant peser la taxe du cinquième sur l'or et sur l'argent, de même que sur les perles et sur les pierres précieuses.

Lorsque le Vénézuéla se constitua en république indépendante, le pouvoir exécutif résolut, sur la consultation que lui adressa le gouverneur de la province de Mérida, que l'on payerait pour les mines d'or, d'argent et de pierres précieuses, outre l'impôt établi par la loi de la *Récopilation*, trente gourdes (120 francs) et les droits d'enregistrement.

Le 11 mai 1840, le congrès exempta pour huit ans les produits de toutes les mines de métaux et de houille, de toute espèce de droits, tant nationaux que municipaux.

A cette époque, une compagnie exploitait la mine de cuivre d'Aroa, dans la province de Barquisimeto ; c'était l'unique établissement de ce genre en activité au Vénézuéla. La loi du 11 mai fut promulguée en faveur de cette entreprise et dans le but d'encourager cette branche d'industrie ; mais les produits de la mine d'Aroa ayant diminué au point de ne plus couvrir les frais d'exploitation, les travaux furent abandonnés quelques années après.

En 1850, la renommée de la richesse minérale du canton d'Upata, dans la province de la Guyane Vénézuélienne, ayant attiré dans ces contrées un grand nombre de nationaux et d'étrangers, le gouvernement de cette province, autorisé par le pouvoir exécutif, rendit un décret, le 6 septembre de la même année, pour régler les travaux des lavoirs d'or de l'Yuruario, et pour percevoir le cinquième du produit de l'or qu'on en retirerait, conformément à la loi Ire de la *Récopilation* des Indes.

Telles étaient les dispositions confuses qui régissaient cette partie importante de la richesse du Vénézuéla. Les vices de cette législation, et les découvertes récemment faites d'un grand nombre de mines dans le pays, ont fait sentir la nécessité d'établir des règles claires et précises sur cette matière. Ces règles ont été déterminées par huit lois sanctionnées le 20 mai de cette année, et réunies dans un seul corps que l'on appelle *Code des mines*.

Dans ce code se trouvent maintenant définis les droits des propriétaires des mines, ceux des inventeurs, les garanties que doivent offrir les prétendants à la concession d'une mine, la distinction précise entre la propriété de la superficie du sol et celle du gîte exploité, la transmission du droit de concession, le montant de la contribution qui revient à l'État ; enfin les devoirs des exploitants envers leurs voisins et envers les propriétaires de la superficie du terrain. Toutes ces dispositions ne sont du reste dans le fond qu'une reproduction de la loi française du 21 avril 1810.

(*Extrait du tableau récapitulatif des actes officiels du gouvernement de Vénézuéla.*)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME SEPTIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages.

Voyage au lac supérieur (États-Unis d'Amérique); par M. *Rivot*, ingénieur des mines, professeur à l'École des mines. 173

Esquisse d'une classification des chaînes de montagnes de l'Amérique du Nord; par M. *Marcou*. 329

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

Histoire et description des mines et fonderies de plomb, cuivre et argent de la Lozère; par M. *Lan*, ingénieur des mines. 1re partie. 1

2e partie. 351

Note sur le traitement métallurgique des minerais de cuivre gris dans l'usine de Stéphanshütte; par M. *J. Juhos*. 53

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Rapports officiels adressés au gouvernement anglais par les inspecteurs des houillères (extrait par M. *Herbet*). 61

Note sur les anciennes carrières sous Paris; par M. *de Fourcy*, ingénieur des mines. 69

Notice sur les mines de charbon de terre du Pérou; par M. *de Rivero*. 459

Calcul de la résistance des poutres droites sous l'action d'une charge en mouvement; par M. *Philips*, ingénieur des mines. 467

Notice sur le marteau-pilon hydraulique de MM. Guillemin et Minary; par M. *Résal*, ingénieur des mines. . . 507

Mémoire sur les mines d'anthracite du bassin du Drac (Isère); par M. *Roger*, ingénieur des mines 525

CONSTRUCTION ET CHEMINS DE FER.

Pages.

Chemins de fer d'Allemagne. — Établissement de la voie. Première partie. — Rails à supports discontinus. Par M. *Couche*, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École des mines. 93

Du télégraphe des trains, de M. Bonelli, et du parti qu'on pourrait en tirer comme moyen de sûreté dans l'exploitation des chemins de fer; par M. *Couche*. 565

BULLETIN.

(1er semestre 1855.)

Sur l'importation et l'exportation du fer, ainsi que du charbon minéral dans le Royaume-Uni, pendant les années 1853 et 1854, 587. — Sur l'existence de terrains aurifères dans la province de Fernambouc (Brésil), 604. — Lettre de M. Arnoux, missionnaire apostolique dans l'Ancienne Cochinchine, à MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, 605. — Sur l'industrie du fer aux États-Unis, 616. — Sur l'industrie minérale dans les provinces d'Attacama et Conception (Chili), 625. — Sur les conditions économiques de l'industrie de l'acide borique, 626. — Appendice à la notice précédente, 635. — Sur la législation des mines dans l'État de Vénézuéla, 637.

Table des matières du tome VII. 641

Explication des planches du tome VII. 643

Annonce d'ouvrages concernant les mines, etc., publiés pendant le 1er semestre 1855. . . . . I à VII

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME SEPTIÈME.

Pages.

Pl. I. *Plan des mines de Vialas*. . . . . 1 et suiv.

Pl. II. *Mines de plomb et de cuivre de la Lozère*. . . . . *id.*

Pl. III, IV et V. *Établissement de la voie des chemins de fer*. . . . . 93 et suiv.

(La signification de chacune des figures est inscrite sur la planche même).

Pl. VI. *Carte générale du lac Supérieur*. . . . . 173 et suiv.

Pl. VII. *Carte de détail de la pointe de Keweenaw, de l'Ontonagon et de l'Ile-Royale.*

Pl. VIII.

Fig. 1. Carte générale des États-Unis d'Amérique.

Fig. 2. Coupe des terrains de la pointe de Keweenaw, passant par la mine de Cliffe.

	mètres.
A, grès horizontal.	14.100
A', grès incliné, relevé sur le trapp. . . .	
a, banc chloritique.	40
B, trapp cristallin.	5.810
B', trapp compacte, grenu, amygdaloïde.	
b, lit de conglomérat.	
C, greenstone.	700
D, trapp compacte et amygdaloïde. . . .	1.610
E, alternances	400
F, F, conglomérat.	1.520

Hauteur des points principaux au-dessus du lac :

B. . . . . 285 mètres.
C. 201

Fig. 3. Coupe géologique passant par la mine de Copperfalls.

A, amygdaloïde.
B, grande zone de conglomérat.
C, alternances de trapp, de grès et de conglomérat.
a, Ashbed, banc amygdaloïde imprégné de cuivre.
b, travaux de la mine de Copperfalls.
D, zone métallifère du nord.
E, greenstone.
F, zone métallifère du Sud.

Pages.

Fig. 4. Coupe du terrain de trapp dans la contrée d'Ontonagon. . . . . 173 et suiv.

	mètres.
A, trapp cristallin et compacte.	420
B, amygdaloïde.	310
C, grès.	10
D, conglomérat.	5
E, trapp compacte.	130
F, grès.	3
G, trapp compacte.	520
H, jaspe et grès.	20
T, conglomérat.	110
K, K, grès.	»

Hauteurs des points principaux au-dessus du niveau du lac :

A. . . . . 262 mètres.
E. 200
G. 205

Fig. 5. Coupe verticale de la mine de Cliffe, indiquant la disposition des travaux, des puits et des galeries en 1854.

Pl. IX. *Carte géologique des États-Unis et des provinces anglaises de l'Amérique du Nord.* . . . . . 329 et suiv.

Pl. X, *fig.* 1 et 2. *Plan et coupe de la mine de Bluech* (*Lozère*). . . . . 428 et suiv.

Fig. 3 et suivantes. *Travaux d'exploitation de la concession de la Grande-Draye* (*Isère*). . . . . 525 et suiv.

Pl. XI, *fig.* 1, 2 et 3. *Marteau-pilon hydraulique de MM. Guillemin et Minary.* . . . . . 507 et suiv

Fig. 4 et suivantes. *Travaux des concessions de Combéramis et Peychagnard* (*Isère*) . . . . . 525 et suiv.

Pl. XII. Carte géologique du bassin anthracifère du Drac (Isère). . . . . *id.*

FIN DU TOME SEPTIÈME.

ERRATA DU TOME VII.

Page 150, deuxième ligne du tableau :

Au lieu de : $R = 0{,}152\,\frac{VPa}{I}$, *lisez :* $R = 0{,}125\,\frac{VPa}{I}$.

PARIS. — Imprimé par E. THUNOT et Ce, rue Racine, 26.

Plan des Mines de Pialas.

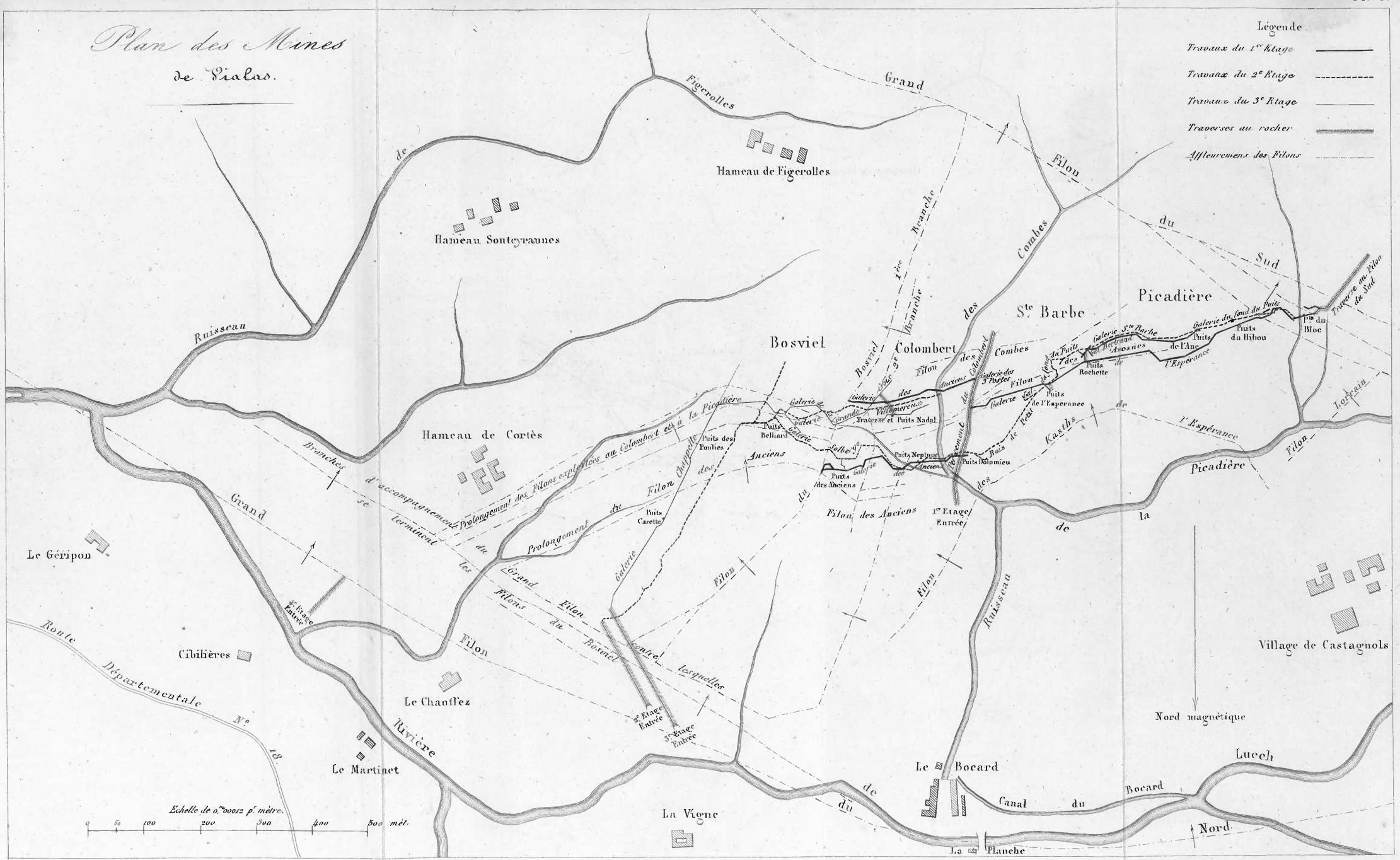


Fig. 1. *Plan du Filon de Bosviel.*

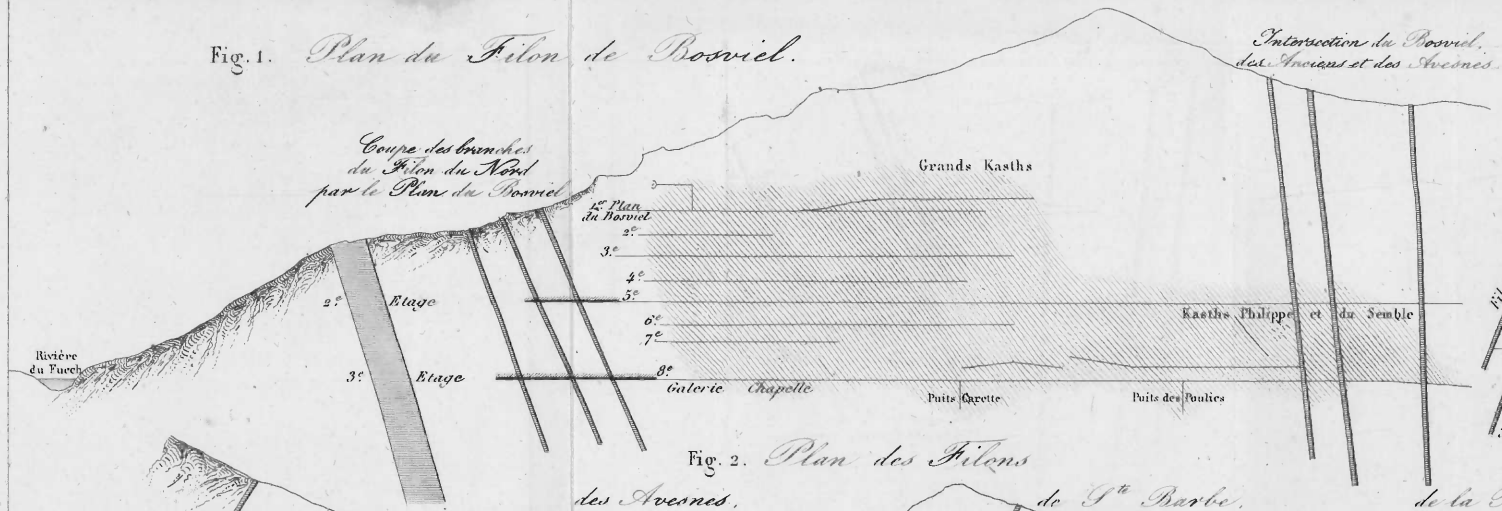


Fig. 2. *Plan des Filons des Avesnes, de Ste Barbe, de la Picardière*

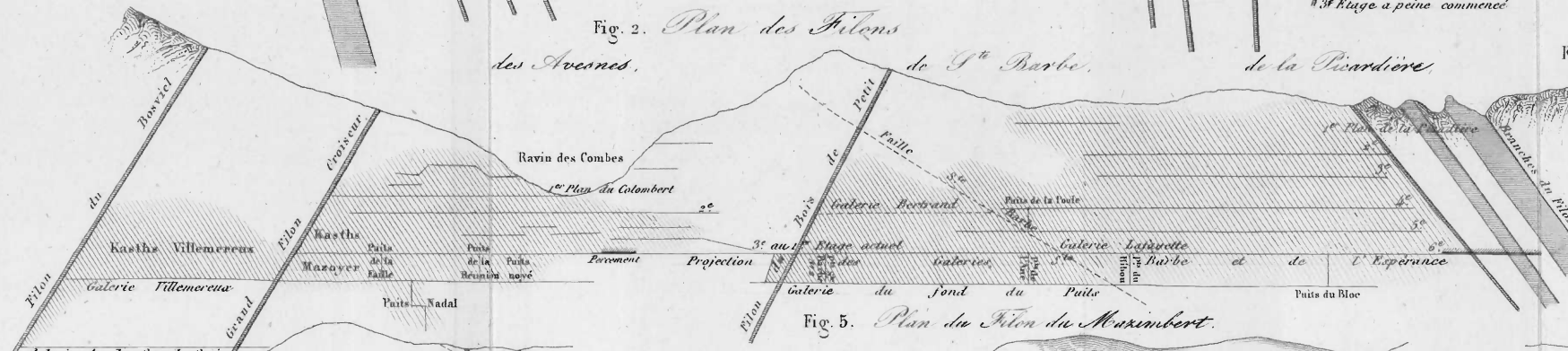


Fig. 3.
Plan du Filon des Anciens.

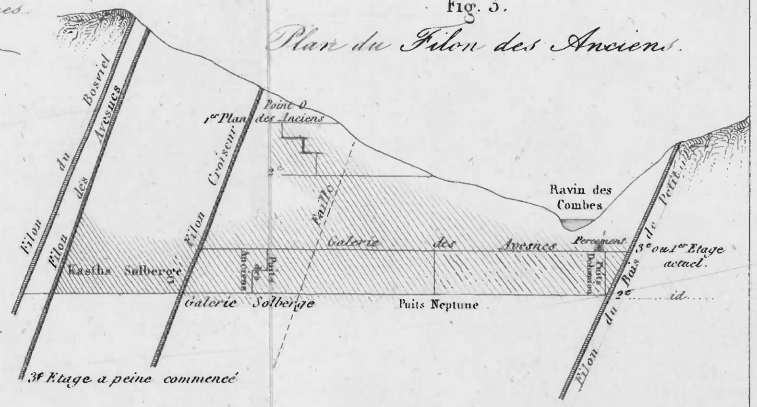


Fig. 7. *Plan du Filon N° 2.*

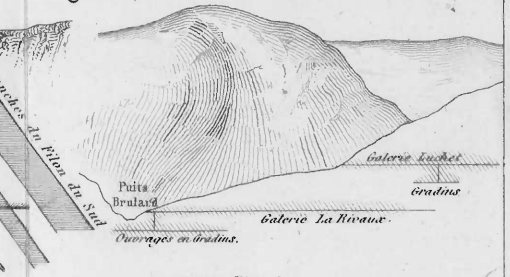


Fig. 4. *Plan du Filon du Bois de Petit*

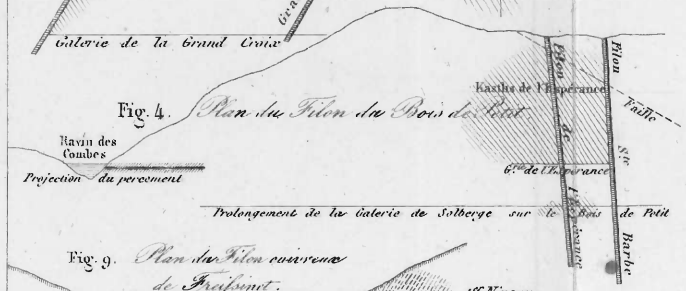


Fig. 5. *Plan du Filon du Maximbert.*

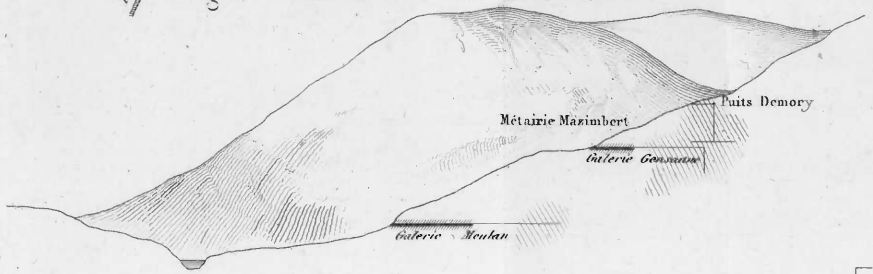


Fig. 8.
Plan du Filon N° 1.

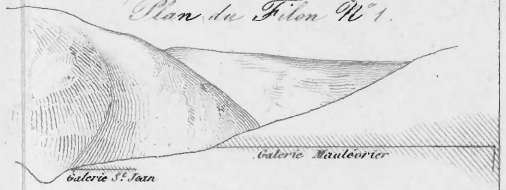


Fig. 9. *Plan du Filon cuivreux de Freissinet.*



Fig. 10. *Diagramme du 2e Etage des Mines de Vialas.*

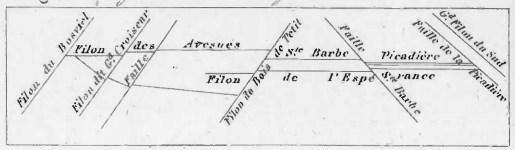
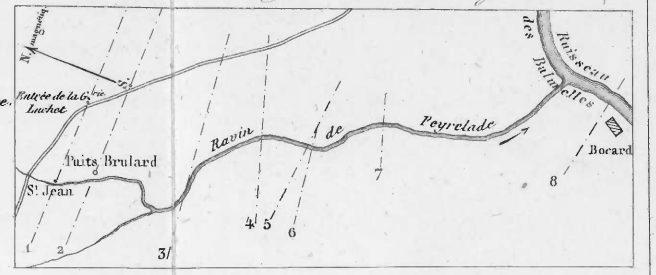


Fig. 6. *Carte des affleuremens de Peyrelade.*



Tête de Filon plombeux.

Massifs qui ont produit de la Galène.

Coupe de Filons.

Tête de Filon cuivreux.

Massifs qui ont produit de la Pyrite de cuivre.

Galeries au Rocher.

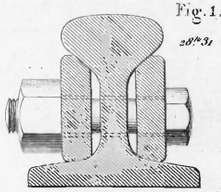
Echelle des Fig. 1. 2. 3. 4. 5. 7. 8 et 9 de 0.m002 pour mètre.

0 50 100 200 300 400 500 mètres.

Cologne à Minden.

Fig. 1.

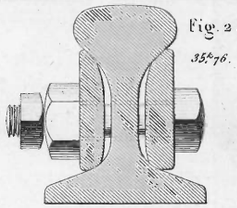
28ᵏ,31



1/4

Fig. 2.

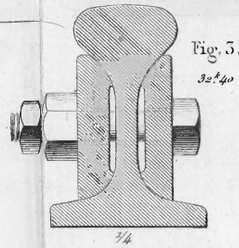
35ᵏ,76.



1/4

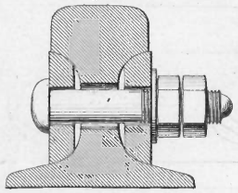
Fig. 3.

32ᵏ,40



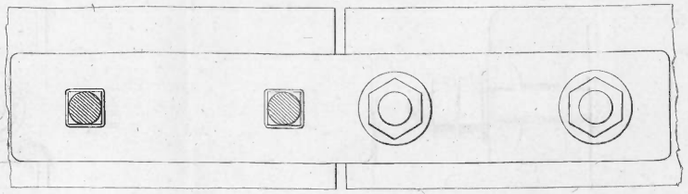
1/4

Fig. 7.



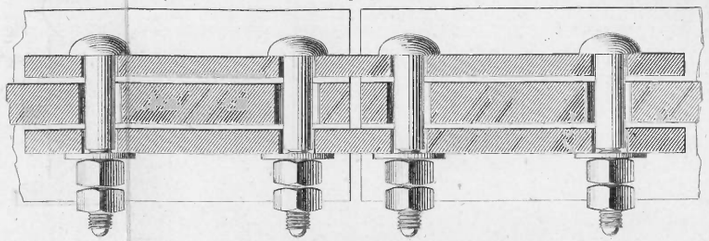
1/4

Fig. 8.



Chemins de l'Etat en Autriche

Fig. 9.

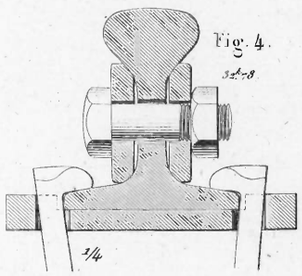


Semring.

Est prussien

Fig. 4.

3ᵏ,78



1/4

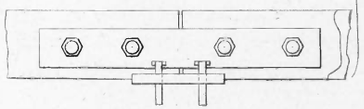
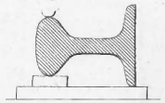


Fig. 29.



Est prussien.

Fig. 5.

1/4

Fig. 26.

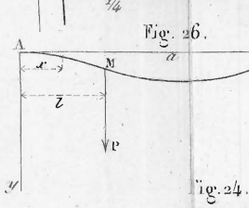
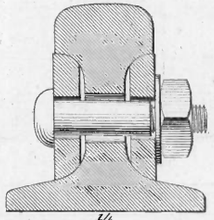


Fig. 10.



1/4

Fig. 11.

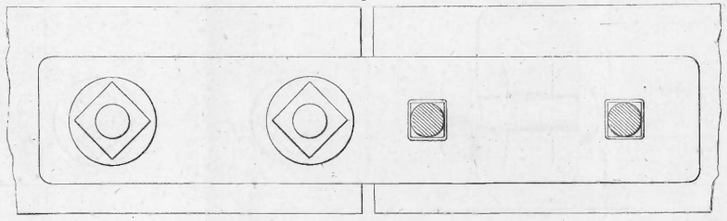


Fig. 12.

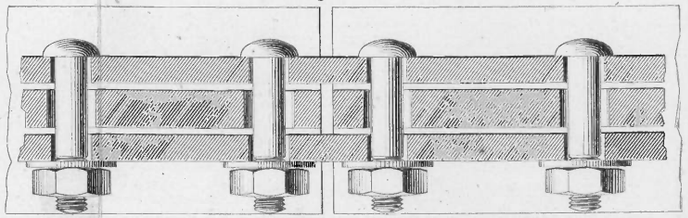
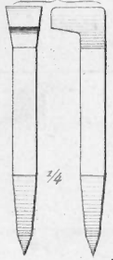


Fig. 19.



1/4

Fig. 17.

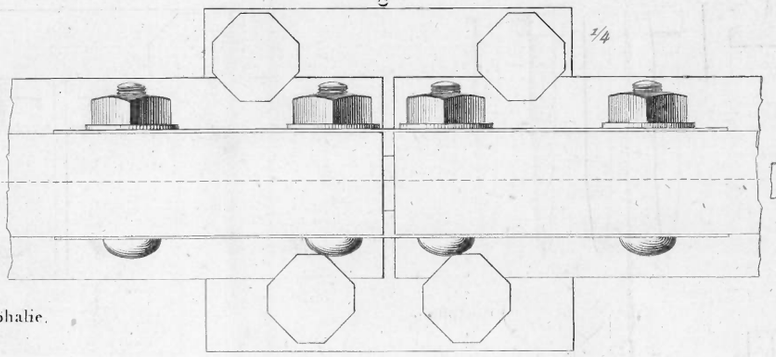


1/4

Fig. 18.

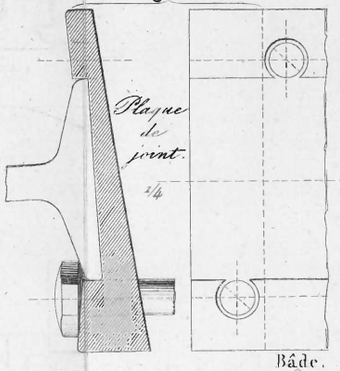


Fig. 13.



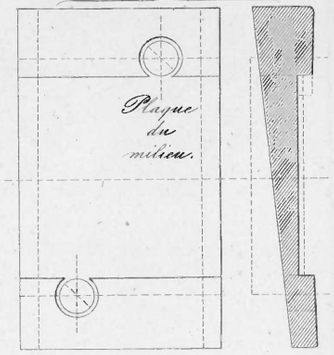
1/4

Fig. 14.



1/4

Fig. 15.



Bâde.

Fig. 22.

Berlin à Francfort.

1/4

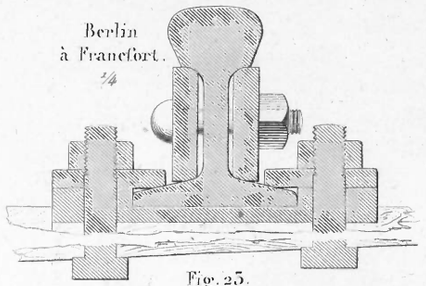


Fig. 23.

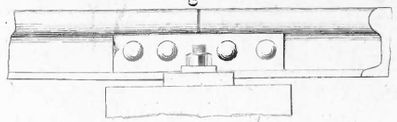


Fig. 24.

Lübeck à Büchen.

1/4

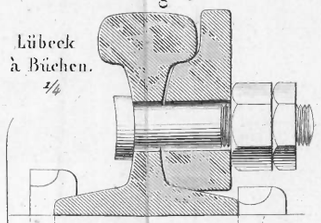


Fig. 27.

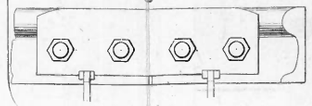


Fig. 25.

Westphalie.

1/4

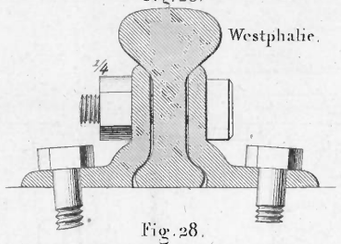
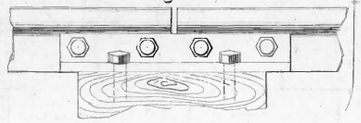


Fig. 28.



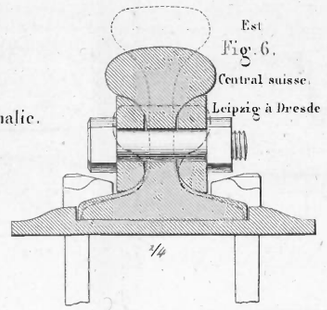
Westphalie.

Est

Fig. 6.

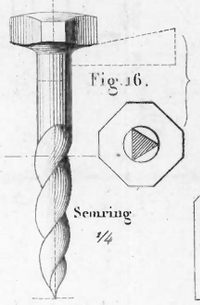
Central suisse.

Leipzig à Dresde



1/4

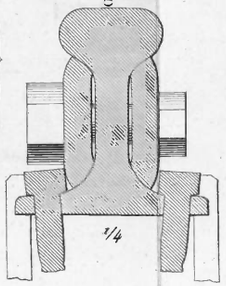
Fig. 16.



Semring

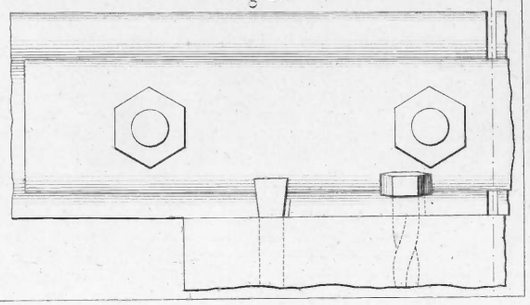
1/4

Fig. 20.



1/4

Fig. 21.



Serre-rails de M. Barberot.

Fig. 10.

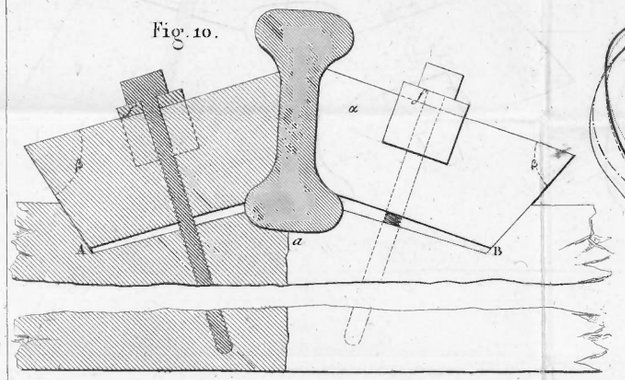


Fig. 11.

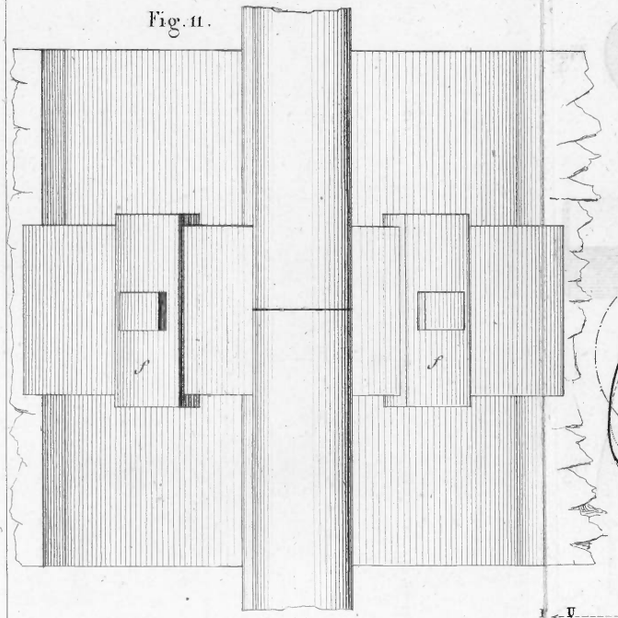


Fig. 13.

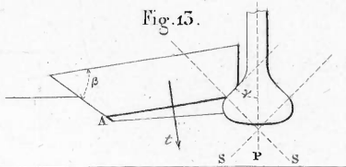


Fig. 1.

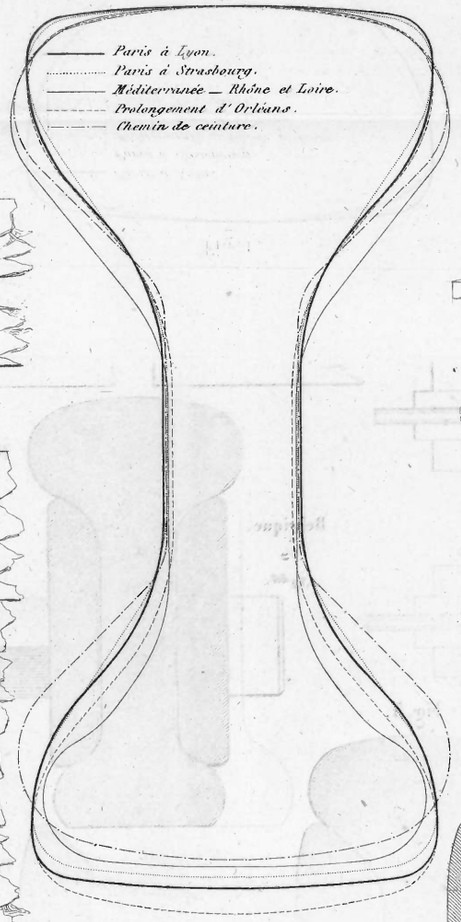


Fig. 12.

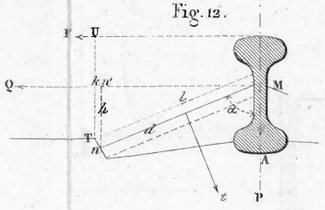


Fig. 9.



Dernier rail de Londres à Birmingham.

Fig. 14.

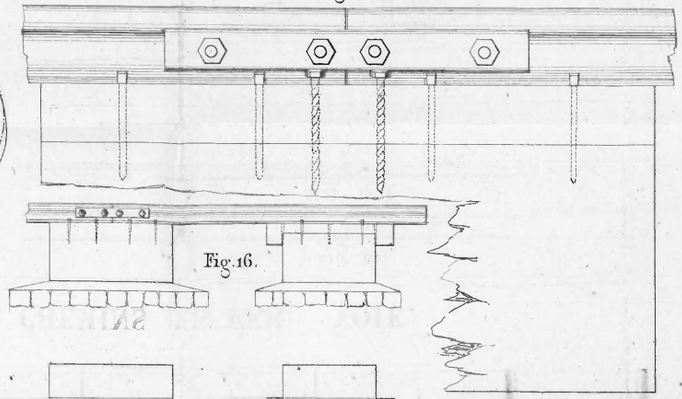


Fig. 16.

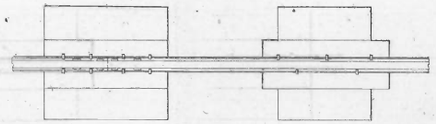


Fig. 17.

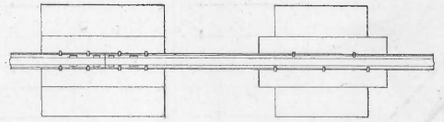
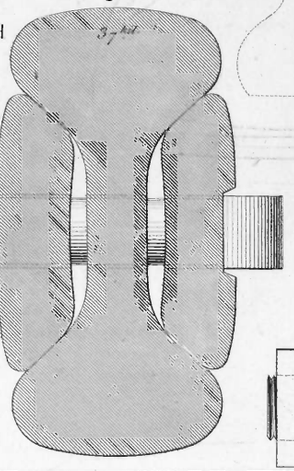
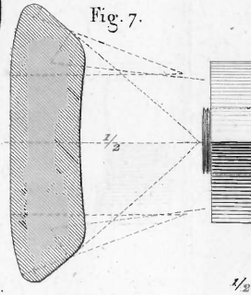


Fig. 5.



Chemin du Nord Français.

Fig. 7.



Bâde

Pose sur dés.

Fig. 15.

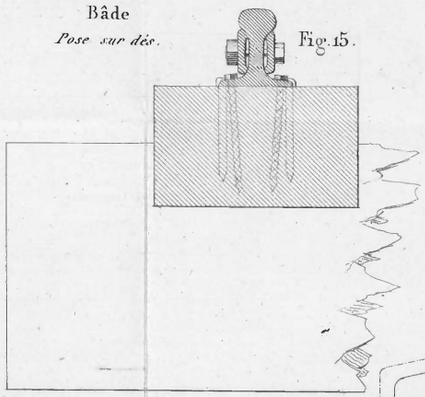


Fig. 2.

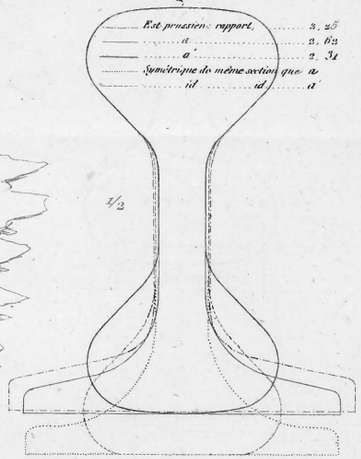
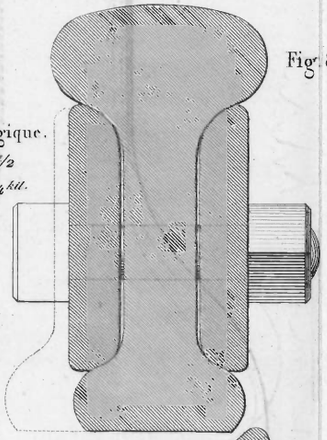


Fig. 8.



Belgique.

1/2

34 kil.

Saarbrück.

1/4

Fig. 3.

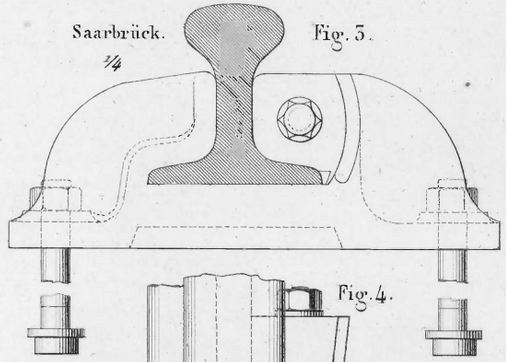


Fig. 4.

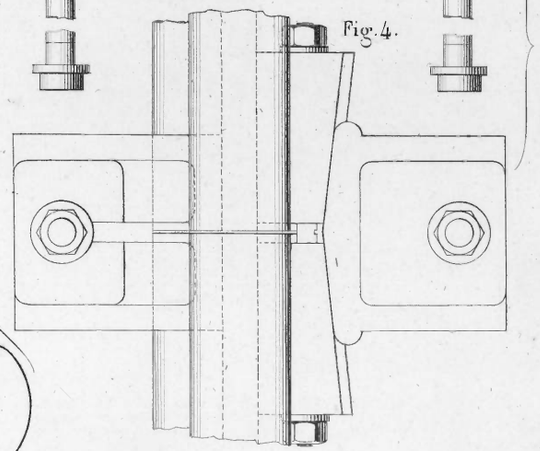


Fig. 6.

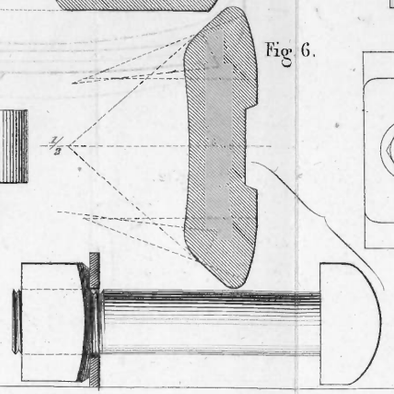


Fig. 15.

Fig. 1. *Presse à levier pour les expériences sur les rails.*

Fig. 4.

Fig. 2.

Appareil modifié.

Fig. 3.

Fig. 17. *Signal du changement de voie.*

Fig. 16. *Mécanisme pour la manœuvre des aiguilles.*

Fig. 18. *Plaque tournante avec poutres en treillis.*
(Gare de Leipzig, chemin Saxo-bavarois)

Fig. 14.

Est.
$32^k,78$.

Fig. 5.

Basse Silésie et la Marche
$31^k,78$.

Fig. 6.

Est.
$32^k,78$.

Fig. 7.

Berlin Hambourg.
$33^k,00$

Fig. 8.

Berlin-Potsdam-Magdebourg.
$29^k,80$.

Fig. 9.

Est
$32^k,78$.

Fig. 10.

Westphalie.
$29^k,05$.

Fig. 11.

Westphalie
$26^k,82$

Fig. 12.

Thuringe.
$32^k,78$.

Fig. 13.

Magdebourg à Leipzig
$26^k,82$.

Fig. 21. *Elévation d'une poutre secondaire.*

Fig. 23.

Remise des Wagons.

Chariot

Pont tournant.

Fig. 20. *Elévation d'une poutre principale.*

Fig. 19. *Coupe suivant AMB de la Fig. 18.*

Fig. 22.
Plaque tournante à pivot extrême.
Chemin de fer de Stargard à Posen.
(Gare de Stettin)

Voyage au Lac Supérieur.

Carte géologique du LAC SUPÉRIEUR

ÉTAT DE MICHIGAN

Dressée par M.rs J. W. Foster et J. D. Whitney géologues des Etats Unis.

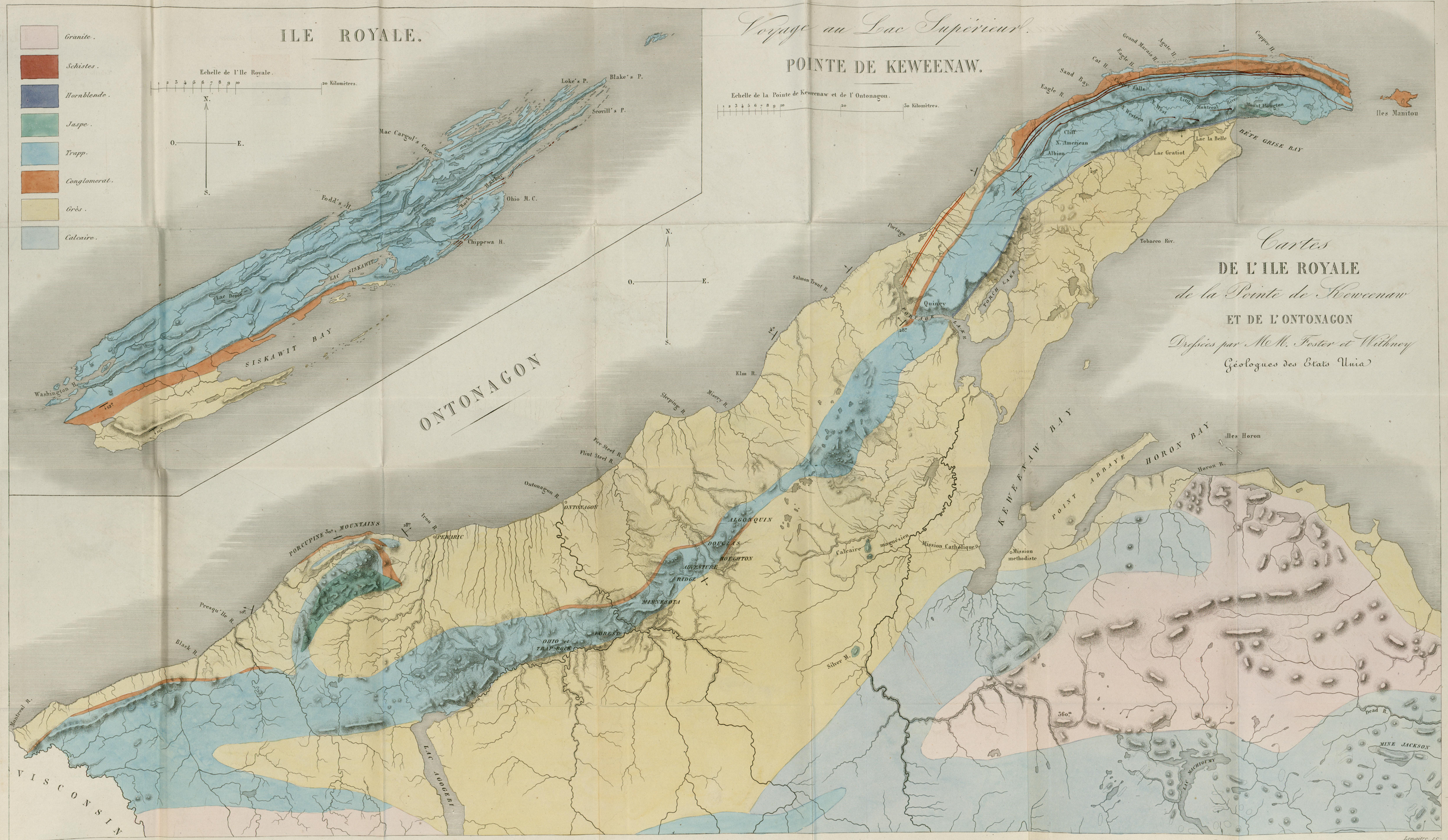
Granite
Schistes métamorphiques
Trapp
Conglomérat
Grès silurien
Grès calcaire
Calcaire magnésien
Calcaire silurien
Calcaire du Niagara
Groupe salin d'Onondaga
Terrain devonien

Echelle.

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 200 Kilomètres.

Annales des Mines, 5e Série, Tome VII. pages 173 et suivantes.

Lemaitre sc.


Voyage au Lac Supérieur.
ILE ROYALE.
Echelle de l'Ile Royale.
20 Kilomètres.
Granite.
Schistes.
Hornblende.
Jaspe.
Trapp.
Conglomerat.
Grès.
Calcaire.
Loke's P.
Blake's P.
Scovill's P.
Mac Cargol's Cove
Fodd's H.
Ohio M.C.
Chippewa H.
LAC SISKAWIT
Lac Desoz
SISKAWIT BAY
Washington H.
ONTONAGON
POINTE DE KEWEENAW.
Echelle de la Pointe de Keweenaw et de l'Ontonagon.
30 Kilomètres.
Iles Manitou
Copper H.
Agate H.
Grand Marais H.
Eagle H.
Cat H.
Sand Bay
Eagle R.
Copper Falls
Little Montreal River
Mount Houghton
Cliff
N. American
Albion
Lac la Belle
Lac Gratiot
BÊTE GRISE BAY
Portage
Tobacco Riv.
Salmon Trout R.
Quincy
PORTAGE LAKE
TORCH LAKE
Elm R.
Sleeping R.
Misery R.
Fire Steel R.
Flint Steel R.
Ontonagon R.
ONTONAGON
PORCUPINE MOUNTAINS
Iron R.
PEWARIC
ALGONQUIN
DOUGLAS
HOUGHTON
ADVENTURE
RIDGE
MINNESOTA
FOREST
OHIO et TRAP ROCK
Presqu'Ile R.
Black R.
Montreal R.
VISCONSIN
LAC AGOGEBI
Calcaire magnésien
Mission Catholique
Mission methodiste
KEWEENAW BAY
POINT ABBAYE
HORON BAY
Iles Horon
Horon R.
Silver M.
Dead R.
MINE JACKSON
LAC MACHIGUMY
Cartes
DE L'ILE ROYALE
de la Pointe de Keweenaw
ET DE L'ONTONAGON
Dressées par MM. Foster et Withney
Géologues des Etats Unis

Lemaître sc.

Fig. 1. *Carte générale.* *Voyage au Lac Supérieur.*



Fig. 5. *Coupe des travaux de la mine de Cliff.*

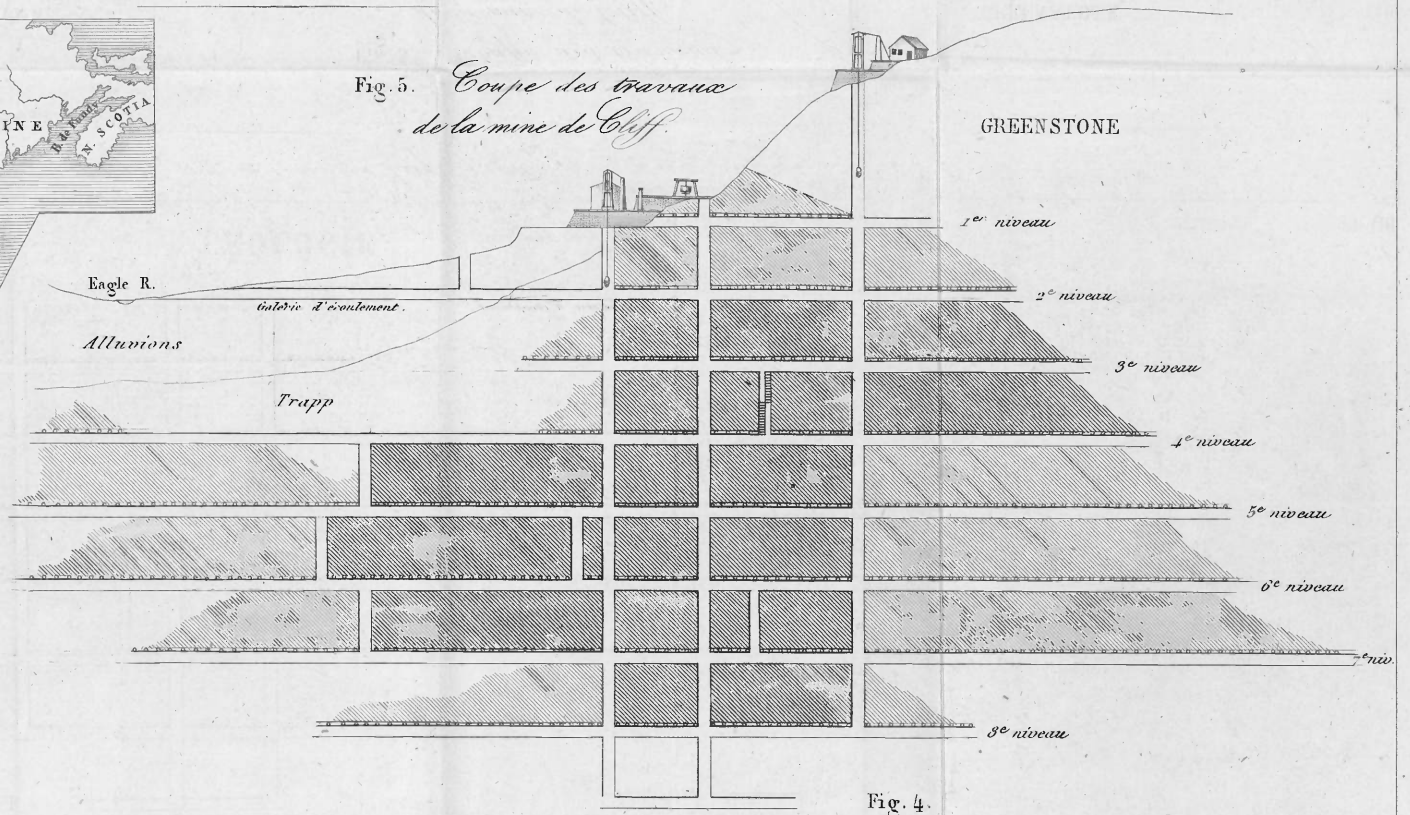


Fig. 2.

Pointe de Keweenaw. — Coupe passant par la mine de Cliff



Fig. 4.

Contrée d'Ontonagon. — Coupe du terrain de Trapp auprès de la mine de Minnesota.

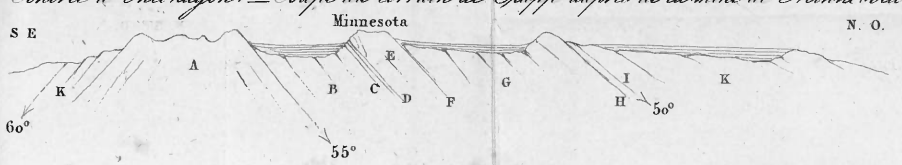
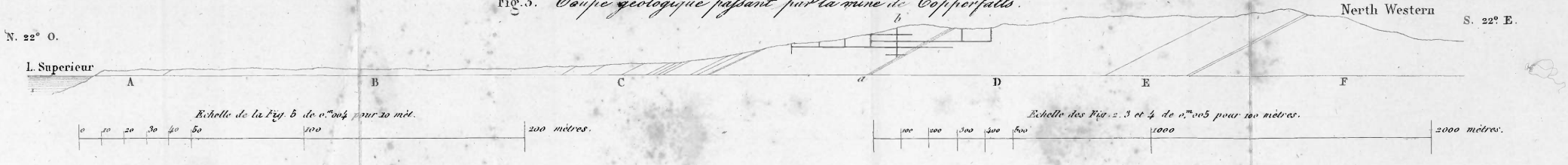


Fig. 3. *Coupe géologique passant par la mine de Copperfalls.*



Pl. VII.



Granite.



Jaspe.



Schistes métamorphiques.



Trapp.



Conglomérat.



Grès.



Calcaire magnésien.

Pl. VI.

Granite.



Jaspe.



Schistes métamorphiques.



Trapp.



Conglomérat.



Grès silurien inférieur.



Grès calcaire
et Calcaire magnésien



Calcaire du Niagara.



Groupe salin d'Onondaga

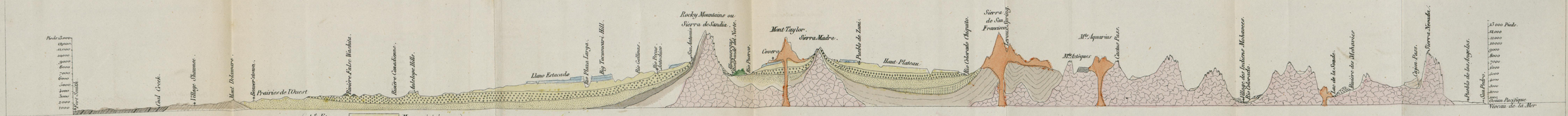


Terrain divarien.



Profil géologique du Fort Smith (*Arkansas*) au Pueblo de los Angelos (*Californie*)

Les hauteurs ont été mesurées au moyen du baromètre et trigonométriquement, pendant l'expédition du Lieutenant A. W. Whipple : de 1853-54.



CARTE GÉOLOGIQUE
DES ÉTATS-UNIS ET DES PROVINCES ANGLAISES
DE L'AMÉRIQUE DU NORD

par

JULES MARCOU

Longitude à l'Ouest de Greenwich



Explication des Couleurs.

Terrain Moderne	O
Limite méridionale du Terrain Erratique du Nord	
Terrain Tertiaire	E
Terrain Crétacé	C
Terrain Jurassique	J
Terrain du nouveau Grès rouge	R
Carbonifère sup. ou Houille	H
Carbonifère inf. ou Calcaire de Montagne	M
Terrain Dévonien	D
Terrain Silurien	S
Roches éruptives et métamorphiques	G
Trapp Cuprifère	T
Volcans	V

Annales des Mines, 5e Série, Tome VII page 329.

Lith. par Avril frès

Imp. Lemercier rue de Seine S. G. F. Paris.

Plan et Coupe de la mine de Blaech.

LÉGENDE

Affleurement.

Minerai.

1er Etage.

Travaux du fond du Puits de l'Espérance.

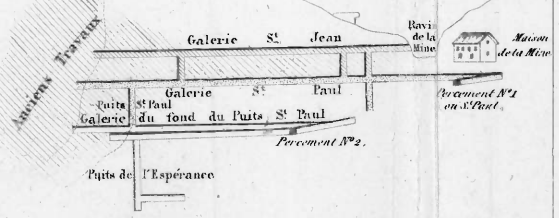
2e Etage.

3e Etage.

Lieu dit la Quille

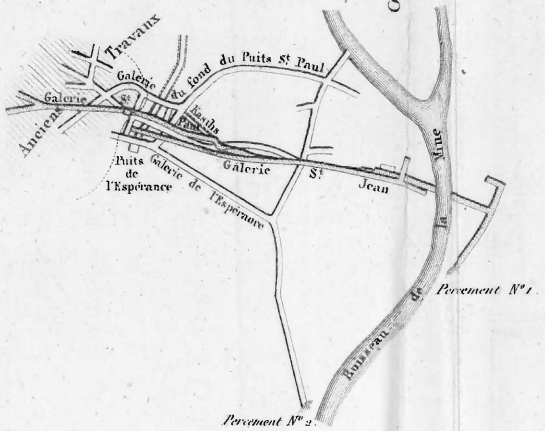
Coupe suivant la direction.

Fig. 1.



Plan.

Fig. 2.

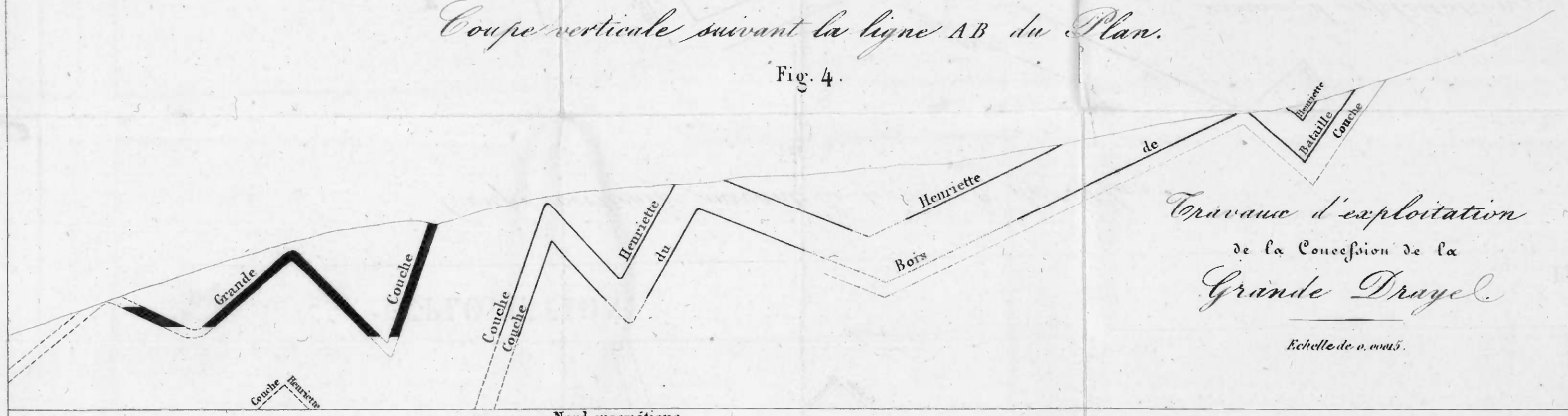


Echelle de 0m,005 pour 1 mètre.

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 100 mètres

Coupe verticale suivant la ligne AB du Plan.

Fig. 4.

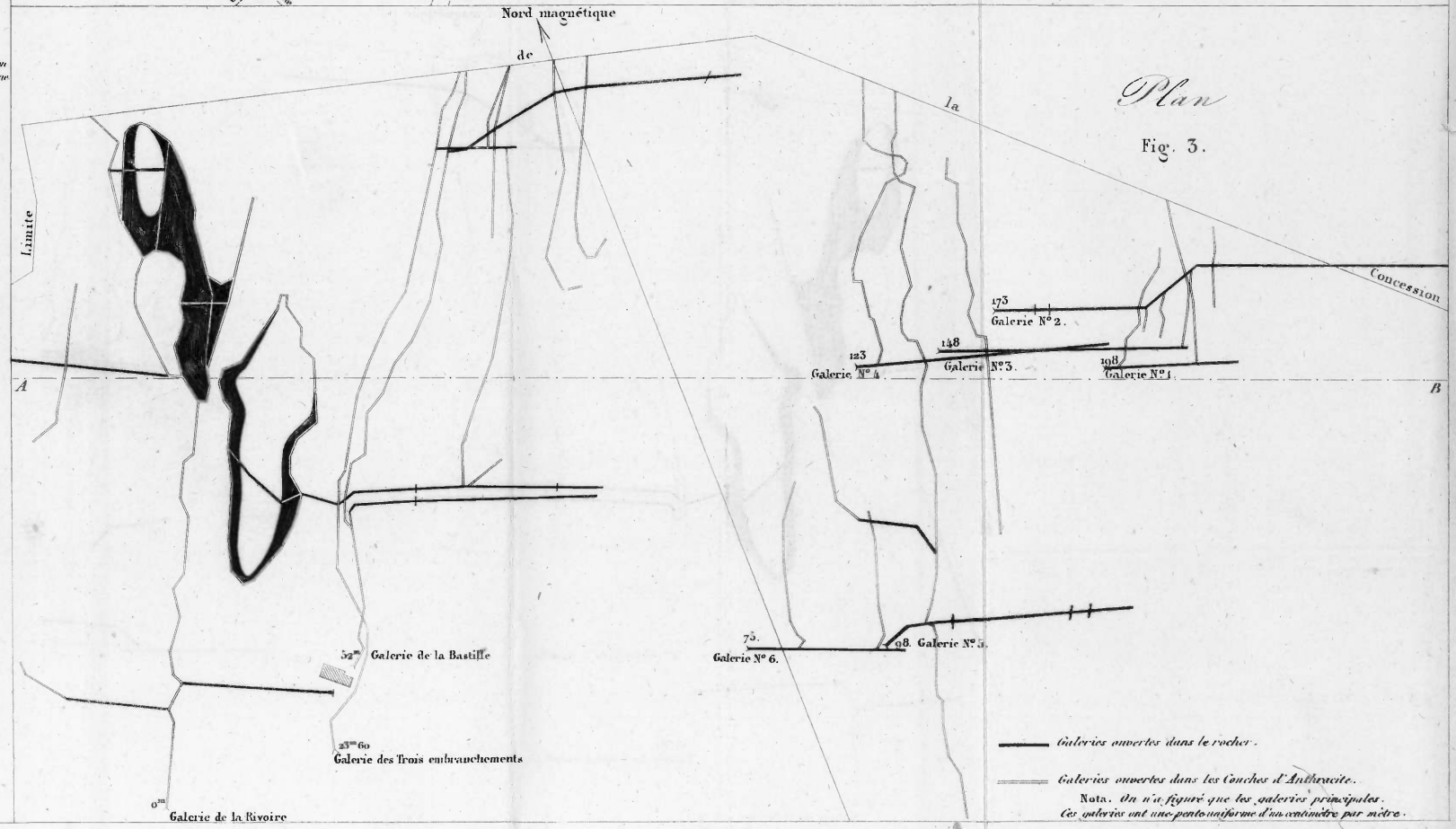


Travaux d'exploitation de la Concession de la Grande Druye.

Echelle de 0,0005.

Plan

Fig. 3.



Galeries ouvertes dans le rocher.

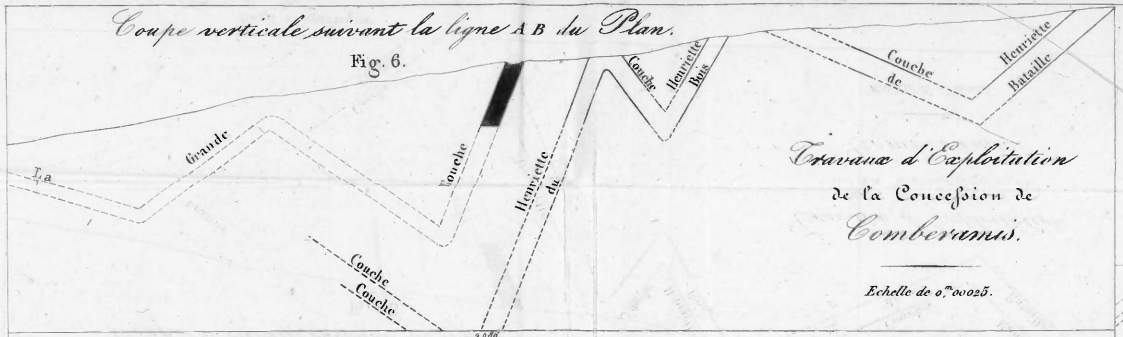
Galeries ouvertes dans les Couches d'Anthracite.

Nota. On n'a figuré que les galeries principales.
Ces galeries ont une pente uniforme d'un centimètre par mètre.

Lemaitre sc.

Coupe verticale suivant la ligne A B du Plan.

Fig. 6.

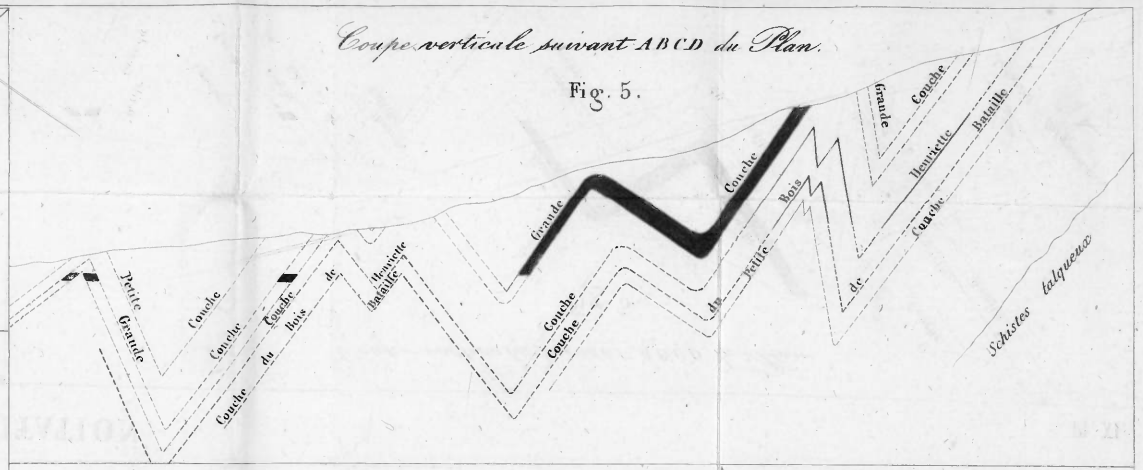


Travaux d'Exploitation de la Concession de Comberanais.

Echelle de 0,m 00025.

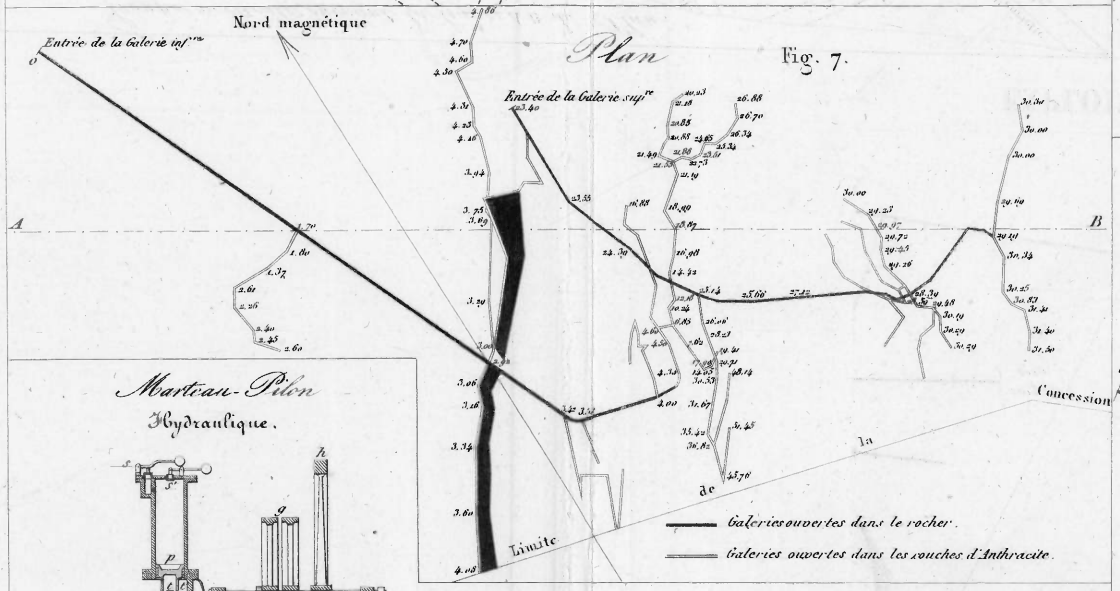
Coupe verticale suivant A B C D du Plan.

Fig. 5.



Plan

Fig. 7.

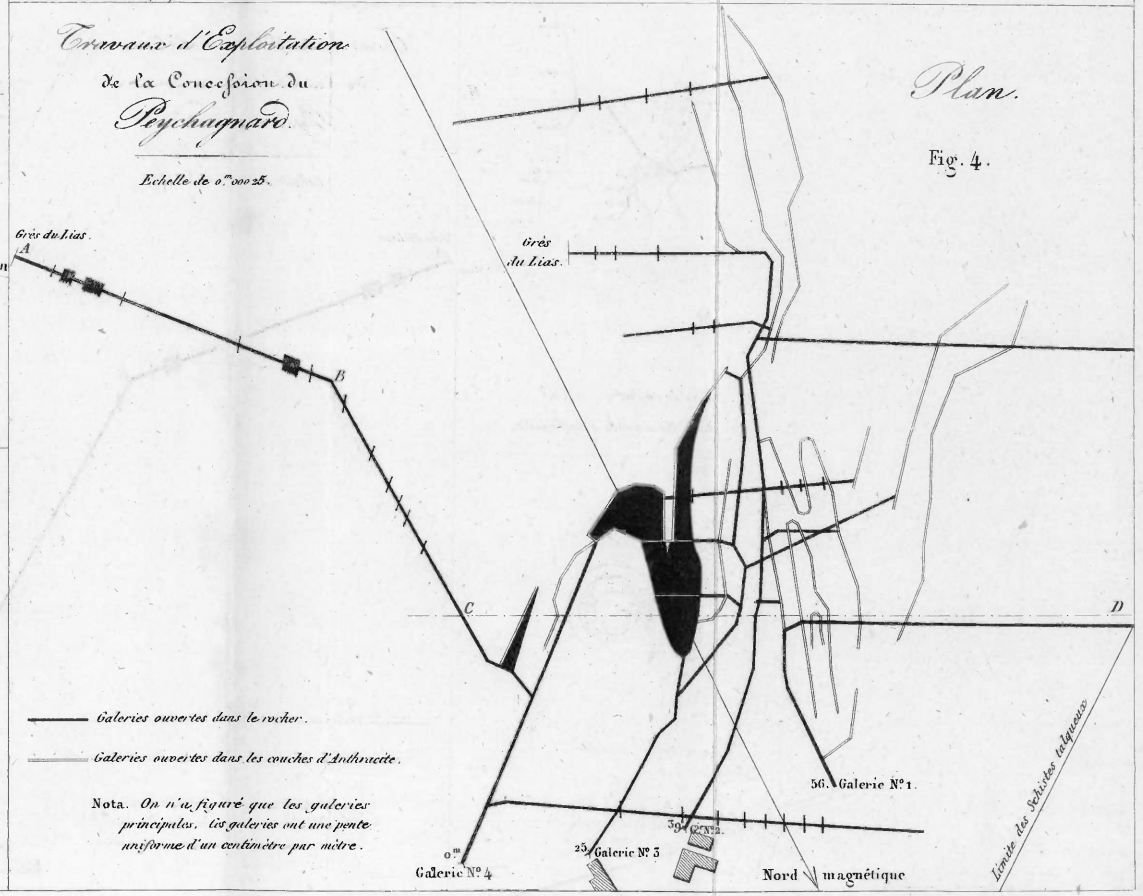


Travaux d'Exploitation de la Concession du Peychagnard.

Echelle de 0,m 00025.

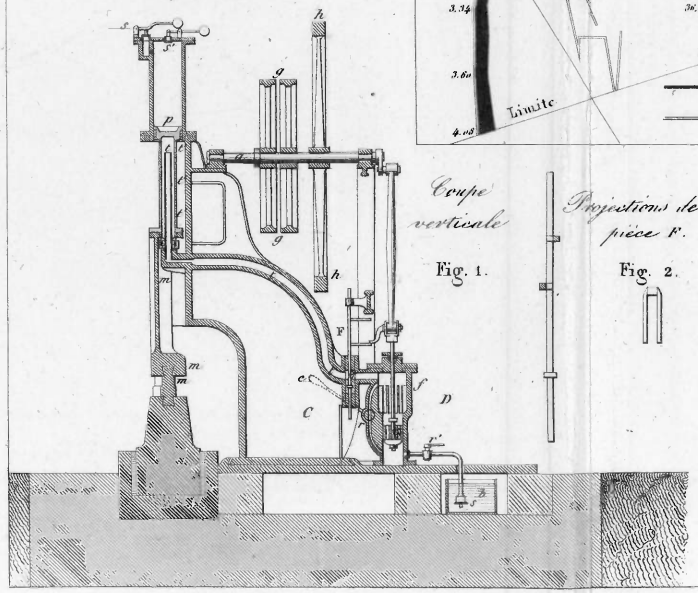
Plan.

Fig. 4.



Nota. On n'a figuré que les galeries principales. Ces galeries ont une pente uniforme d'un centimètre par mètre.

Martian-Pilon Hydraulique.



Coupe verticale

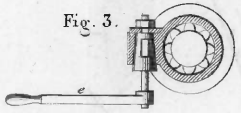
Fig. 1.

Projections de la pièce F.

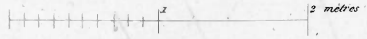
Fig. 2.

Coupe horizontale par CD.

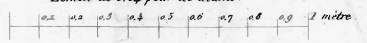
Fig. 3.



Echelle de 0,02 pour l'ensemble.



Echelle de 0,01 pour les détails.




Carte géologique
du Bassin anthracifère
du Drac.
LÉGENDE
Alluvions modernes.
Calcaires jurassiques.
Grès anthracifères.
Schistes talqueux.
Echelle de 0,m025 p.r 1000 mètres 40,000
1 2 3 4 kilom.
O.
S.
N.
E.
Le Drac
torrent
Monteynard
Perrulier
Les Cotes
Montey
La Motte
Le Vivier
Le Mollard
La Faury
Combe Folle
Concession du Chatelard
Concession La Mairie
La Motte d'Aveillard
Le Villard
Concession de la Grande Drave
Concession de Comberamis
N.D. de Vaux
Les Perriers
Villaret
St Jean de Vaux
Concession de Puteville
Concession de Pierre Chatel
St Theoffrey
Gontegamme
Petit Chat
Grenoble
Laffrey
Le Grand Lac
Concession de Laffrey
Lac des Cordeliers
Lac Manival
Gap
Lespinasse
Feytigny
Le Mas
Pierre Chatel
La Guirie
Concession du Peyehagnard
Le Collet
Le Cray
Peychagnard
Susville
Les Martins
La Sauzia
Concession des Chuzins
Versenat
Les Chuzins
Le Villaret
Nantisson
Desséchement
Canal
Route
Jonche
LA MURE
Concession de Prunieres
Les Rioux
Prunieres
Simane
Mte Durand
Mte Giroud
Domaines de la Mairie
Concession de Serre Leycon
Concession du Martin Bethoux
Concession des Boines
Concession de Serre Leycon
Le Villard
Rif
Les Bayardières
Les Bachoud
Baturie
Forge
Le Mas
Oeillan
Ecurie Ferrat
Mte Roc
Les Prunières
Les Rioux
Mte Durand
Simane
Mte Giroud
Domaines de la Mairie
Versenat
Les Chuzins
Nantisson
Jonche
Route
Canal
Desséchement
Le Villaret
Le Mas
Feytigny
Pierre Chatel
La Guirie
Lespinasse
Gap
Croix de Berlion
Petit Chat
Grenoble
Laffrey
Mte Gaillard
Le Grand Lac
Concession de Laffrey
Lac des Cordeliers
Lac Manival
St Theoffrey
Villaret
St Jean de Vaux
Les Perriers
N.D. de Vaux
Concession de Comberamis
Concession de Pierre Chatel
Concession de Puteville
Concession du Peyehagnard
Concession des Chuzins
Concession de Prunieres
Concession de Serre Leycon
Concession du Martin Bethoux
Concession du Chatelard
Concession La Mairie
Concession des Boines
Concession
Grande Drave
Le Collet
Susville
Les Martins
La Sauzia
Peychagnard
Le Cray
Puteville
Les Rioux
Prunieres
Simane
Mte Durand