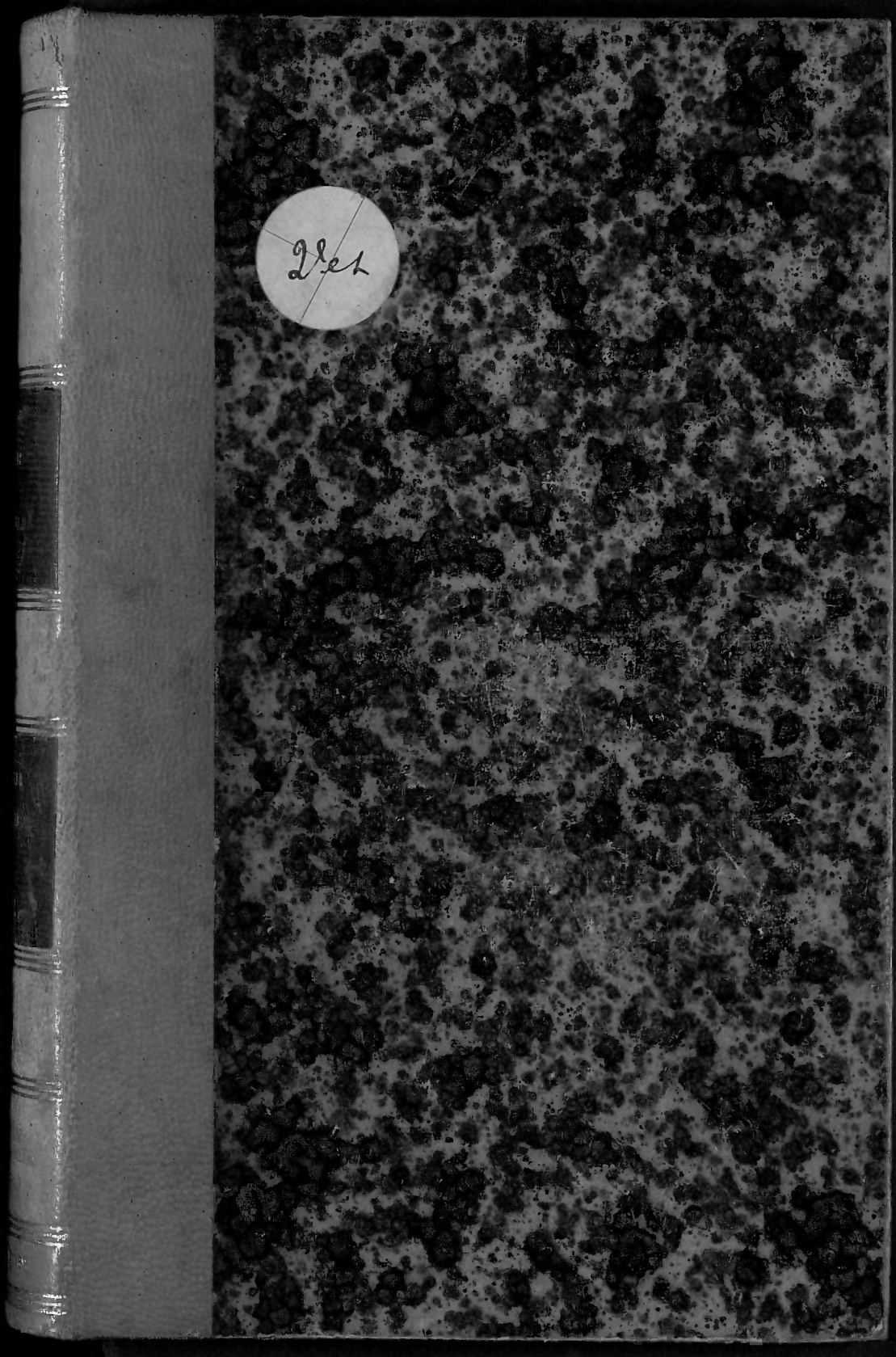
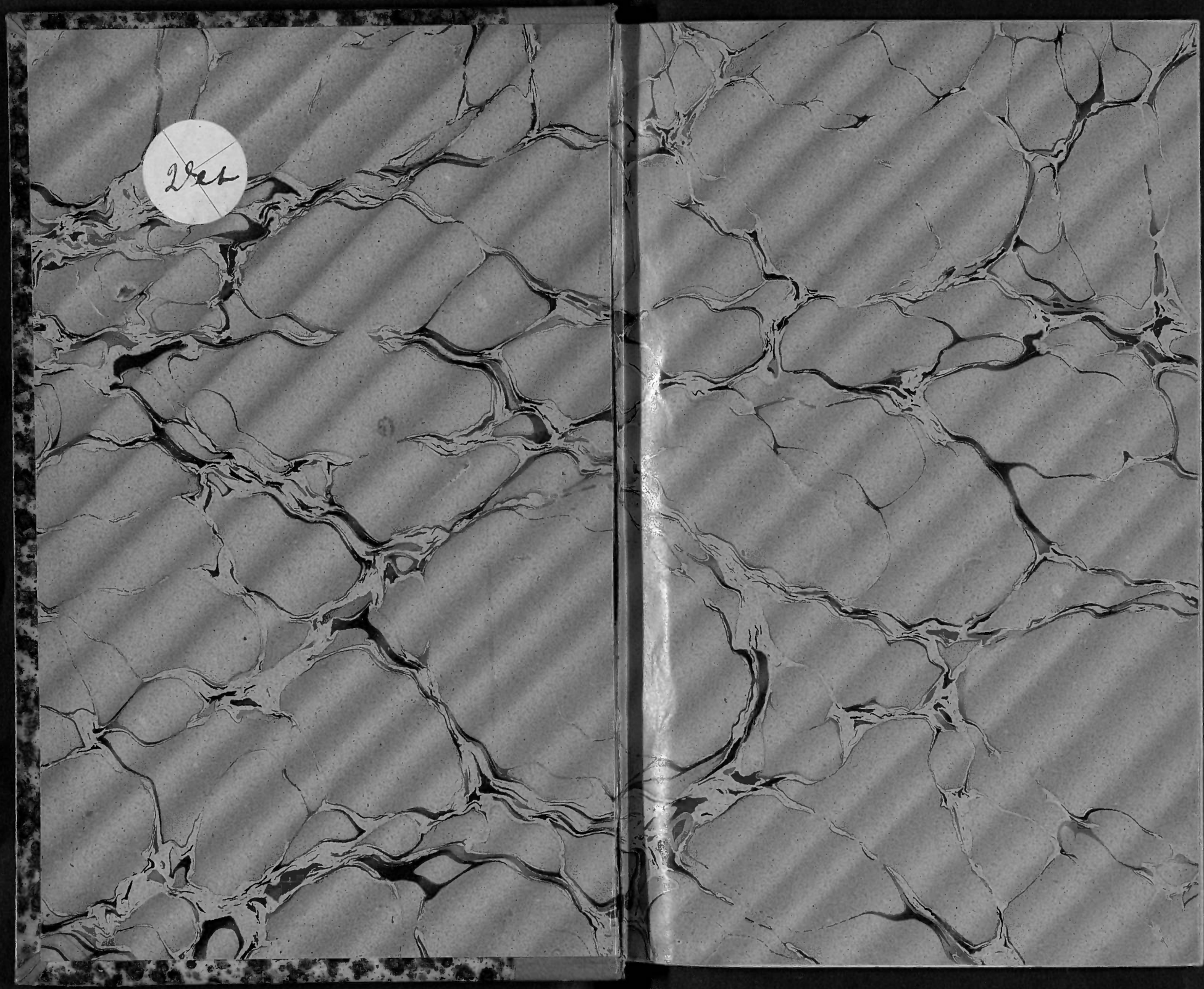




Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'Administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des travaux publics. Cette commission, dont font partie le directeur des routes, de la navigation et des mines et le directeur du personnel et de la comptabilité, est composée ainsi qu'il suit :

MM.

Linder, inspecteur général des mines, *président.*

Castel, inspecteur général.

Haton de la Goupillière, inspecteur général, directeur de l'École supérieure des mines.

Orsel, inspecteur général.

Résal, inspecteur général, professeur à l'École supérieure des mines.

Mallard, d°

Lorieux, inspecteur général.

Massieu, d°

Laur, d°

Villot, d°

Peslin, d°

Cheysson, inspecteur général des ponts et chaussées, professeur à l'École supérieure des mines.

MM.

Keller, ing. en ch., secrét. de la Commission de la statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur.

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

Potier, d°

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

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

Ledoux, d°

Douvillé, d°

Bertrand, d°

Le Chatelier, d°

Lodin, d°

Sauvage, ingén. des mines, professeur à l'École supérieure des mines.

De Launay, d°

Zeiller, ingénieur en chef, *secrétaire de la Commission.*

L'Administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des travaux publics*, à M. l'ingénieur en chef, secrétaire de la commission des Annales des Mines.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé 10 francs par planche et par cent exemplaires ou fraction de centaine. Les planches extraordinaires sont payées au prix de revient.

Le brochage, y compris couverture imprimée et faux frais, est payé, pour une feuille seule ou une fraction de feuille, 3 francs le premier cent et 1f,25 pour chaque centaine ou fraction de centaine en plus. Pour chaque planche, ou chaque nouvelle feuille de texte, il sera payé 0f,25 par chaque centaine d'exemplaires.

La publication des Annales des Mines a lieu par livraisons, qui paraissent tous les mois.

Les douze livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 120 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

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

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

ANNALES

DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

NEUVIÈME SÉRIE

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE

MÉMOIRES. — TOME V

PARIS

Vve Ch. DUNOD & P. VICQ, ÉDITEURS

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

Quai des Grands-Augustins, 49

1894

ANNALES
DES MINES

SUR UN GISEMENT
DE
PHOSPHATES DE CHAUX ET D'ALUMINE
CONTENANT DES ESPÈCES RARES OU NOUVELLES
ET SUR LA
GENÈSE DES PHOSPHATES ET NITRES NATURELS

Par M. ARMAND GAUTIER, Membre de l'Institut.

ÉCOLE NATIONALE DES MINES BIBLIOTHÈQUE

I. — INTRODUCTION.

Les phénomènes de la vie, animale ou végétale, interviennent, plus qu'on ne l'avait pensé d'abord, dans la formation des terrains géologiques et dans la production de leurs variétés locales ou successives. Les dépôts houillers et les tourbières, les récifs et les îles qui s'élèvent peu à peu dans la mer, grâce à la reproduction des coraux et des nullipores; la formation des terrains crayeux par accumulation des dépouilles calcaires des foraminifères ayant vécu à la surface ou près de la surface des eaux marines; le dépôt continu de la vase des mers profondes formée d'un mélange de tests de globigé-

rines, d'orbulines, de nummulites calcaires, de diatomées et radiolaires siliceuses, qu'empâte une argile ferrugineuse; la production de la terre végétale et arable, elle-même sans cesse transformée par les microbes et les algues dont elle est richement pourvue, etc., sont des exemples connus de ces formations dues à la vie des plantes ou des animaux, ou du moins fortement modifiées par elle.

La genèse et le dépôt des terrains et roches phosphatées les plus modernes et, comme on le verra, des nitres naturels eux-mêmes, sont de nouvelles preuves de l'intervention puissante de la vie en géologie. Aux estuaires des grands fleuves, et non loin des rivages de certaines mers, les êtres vivants incessamment reproduits: algues, mollusques, poissons, etc., ainsi que leurs déjections, attaqués par les organismes de la putréfaction, laissent de leurs principes constituants la partie minérale qui, en s'accumulant dans des conditions favorables, forme ces lits continus de phosphates calcaires mêlés d'argile et de sable qui, encore à l'heure actuelle, se produisent, non loin des côtes de l'Atlantique australe, ainsi que viennent de le constater des sondages récents.

C'est de la formation de ces phosphorites d'origine animale ou végétale, roches ou sables qui sur certains points, comme dans la Somme, prennent une grande importance en superficie et quelquefois en profondeur, que nous nous occuperons particulièrement dans ce Mémoire.

II. — GISEMENT DE LA GROTTE DE MINERVE.

En 1882, des recherches entreprises avec mon frère sur la constitution géologique des versants sud et nord de la grande vallée de l'Aude, entre les Corbières et la Montagne-Noire, nous amenèrent à étudier les formations calcaires des coteaux situés à l'extrémité sud-ouest

du département de l'Hérault et la nature des terrains sous-jacents.

Ces collines, qui portent les villages de La Livinière, Félines, Sirac, Cesseras, la Caunette, Fauzan, Minerve, etc., sont couronnées de larges plateaux arides, ou *Causses*(*), d'une altitude moyenne de 300 mètres dans cette région. Ils sont formés par une large nappe de nummulitique, ou plutôt de calcaire à alvéolines appartenant à la base de l'éocène moyen, nappe de 35 à 40 mètres de puissance légèrement inclinée sur l'horizon et tout à coup rompue par une coupure profonde de 40 à 120 mètres, orientée Nord 45° Ouest. Dans cette faille à parois presque verticales coule la rivière torrentueuse de la Cesse, après qu'elle a parcouru, dans les parties supérieures du pays, les formations cambriennes et dévoniennes de la région de Ferrals-des-Montagnes. Non loin du hameau de Fauzan, sur les rives escarpées de la double muraille du torrent, à 75 mètres environ au-dessus de son lit actuel, on voit la nappe nummulitique qui forme les Causses rencontrer en stratification discordante la roche dévonienne sous-jacente, roche silico-calcaire, cristalline, très dure, dont les pointements bleus verdâtres apparaissent sous les bancs du calcaires à alvéolines.

Entre les assises de cette dernière roche, inclinées de 9° sur l'horizon, et le dévonien qui est au-dessous, existe un terrain de quelques centimètres à quelques mètres d'épaisseur qui est venu remplir et égaliser les ondulations de la roche dévonienne sous-jacente et combler les fissures ou failles secondaires des assises nummulitiques appuyées sur le dévonien. Ce terrain de remplissage est formé d'une argile rougeâtre ou bleuâtre entremêlée de concrétions gypseuses ou calcaires et de

(*) On donne dans le pays ce nom de *Causses* aux grands plateaux arides et faiblement inclinés qui, pendant plusieurs lieues, s'étendent sur toute cette région.

sables qui paraissent être en partie venus par les fissures de la roche. La rivière de la Cesse devait, à des époques lointaines, couler à la hauteur de ces dépôts argilo-siliceux. Au moment de ses débordements, elle les fouillait et déposait ensuite dans les parties profondes ses sables et cailloux roulés dont nous avons distingué et relevé dans nos sondages les lits horizontaux. C'est de ces déblaiements et remplissages partiels que sont résultées, aux points d'intersection du dévonien et du nummulitique et là surtout où ce dernier terrain présentait ses fentes les plus larges et les plus profondes, les nombreuses grottes qui, à cette hauteur, règnent sur l'une et l'autre rive de la Cesse. Le plancher et les parois de ces cavernes sont donc nummulitiques ; le sous-sol, abstraction faite des matériaux de remplissage, est dévonien.

La principale de ces grottes, depuis longtemps célèbre, porte le nom de *Grotte de Minerve* ou *de la Coquille*. Elle est située sur la muraille droite de la faille de la Cesse, et ses galeries s'étendent sous les terres du hameau de Fauzan. Son entrée, à 36 ou 38 mètres au-dessous du sol rocailleux des Causses, est dirigée vers l'est. Elle donne accès dans une galerie de 8 à 9 mètres de large et de 9 à 10 de hauteur dirigée N. 18° 30′ E, bientôt coupée par une galerie secondaire dirigée N. 18° O. et par quelques autres fentes moins importantes et de même direction générale. Les deux embranchements principaux se rencontrent à angle aigu à une cinquantaine de mètres de l'entrée et donnent, à l'ensemble des couloirs de la grotte, la forme générale d'une croix de Saint-André. Ces couloirs s'enfoncent sous la montagne avec la pente moyenne de 9° de la roche nummulitique sur une longueur totale de 1.100 mètres environ. Encore l'une des quatre branches, la plus courte, aboutit-elle à un lac au bout duquel la grotte se prolonge encore assez loin.

C'est en suivant ces galeries dans le but d'étudier la

nature des terrains qui en forment les parois et le sol, que je fus frappé, en 1883, par l'aspect d'une terre farineuse, d'un blanc chamois, douce au toucher, que je recueillis et que l'analyse me démontra être un phosphate de chaux cristallin répondant à la formule $PO^4CaH, 2H^2O$ identique à un minéral qui n'avait été jusque-là trouvé que dans un guano rocheux provenant de deux petites îles des mers des Antilles. On a donné à cette substance le nom de *brushite*.

Cette découverte bien inattendue nous amena, mon frère et moi, à examiner de plus près le mode de remplissage de la grotte. Nous y fîmes forer de nombreux puits et nous arrivâmes à constater qu'il existait dans ces galeries, non seulement une curieuse et riche collection d'ossements d'animaux quaternaires, de silex taillés, de poteries préhistoriques (*), mais aussi de précieux dépôts de phosphates terreux ou concrétionnés, dont la masse connue, calculée seulement pour la profondeur de 5 à 16 mètres à laquelle se sont arrêtés nos puits, dépasse aujourd'hui 120.000 tonnes (**).

(*) Sur le sol, et surtout dans les galeries rapprochées de l'entrée de la caverne, on a trouvé de nombreux silex taillés, des grains de colliers percés, des ornements de bronze de divers âges, des tessons et poteries noirâtres antérieures à l'usage du tour à potier et à impressions digitales. A 12 ou 15 mètres de l'entrée, on rencontre un amas de résidus de cuisine devenus rocheux, formé d'os cassés, de silex, de coquillages cimentés par une gangue calcaire. Un peu au-dessous de la surface, dans les profondeurs des galeries, on trouve, empâtés dans l'argile phosphatée, de nombreux ossements *intacts* d'animaux fossiles parmi lesquels on a distingué ceux de l'*Ursus spelæus*, très communs; *Hyena spelæa*, rare; *Fetis spelæa*, très rare; *Rhinoceros tichorhinus*, rare; *Sus scrofa*, rare; *Equus*, rare; ossements de petits rongeurs, chauves-souris, etc. M. S. Rivière et mon frère, M. Gaston Gautier, se proposent de publier en commun une étude paléontologique de cette remarquable caverne, ainsi que des autres grottes moins importantes de la même région.

(**) Le puits actuel le plus profond est foncé à 16 mètres; il

Quelle est la nature et l'origine de ces phosphates dont nous n'avons pu retrouver d'autres gisements dans les terrains des Causses, sur plusieurs lieues, à l'extérieur des grottes? Telle a été pour moi l'origine d'un long travail commencé depuis dix ans, et que je vais résumer. Il éclairera, je l'espère, d'un jour nouveau non seulement la question, encore bien controversée en bien des points, de l'origine et du mécanisme de la formation des phosphorites, mais aussi celle des rapports de ces roches précieuses avec les guanos, et les nitres naturels eux-mêmes qui, sur des centaines de lieues, forment le sol et le sous-sol des déserts arides du Chili et de l'Inde.

Mais avant d'aborder l'étude du mécanisme chimique assez délicat qui a donné lieu à ces formations, et plus particulièrement aux phosphorites, concrétionnées ou sableuses, il importe que nous examinions en détail la nature des matériaux de remplissage de la grotte et que nous décrivions les diverses espèces phosphatées nouvelles ou très rares que nous y avons rencontrées. Ces constatations bien établies, l'explication des faits observés s'ensuivra plus facilement (*).

III. — MATÉRIAUX SUPERFICIELS DE REMPLISSAGE DE LA GROTTE.

Les matériaux superficiels de remplissage de la grotte sont formés, jusqu'à une profondeur variant de $0^m,10$ à

continue à traverser la couche concrétionnée de phosphates. Mais nous ne donnons ici que le cubage connu, en le calculant comme si les phosphates s'arrêtaient partout où l'on a arrêté à cette heure le forage des puits.

(*) Dans les nombreuses grottes de la région, dans celles de Bize (Hérault) et dans plusieurs cavernes des Pyrénées, les mêmes phénomènes, auxquels sont dus les dépôts de ces phosphates azotés, se sont également produits. Mais c'est dans l'immense

$0^m,50$, d'une terre phosphatée, titrant, suivant les points, de 2 à 18 p. 100 d'acide phosphorique anhydre P^2O^5. C'est un mélange de calcaire concrétionné, de sable, d'argile (*) qui, en certains points, devient prépondérante, de phosphate de chaux, et comme on va le voir de phosphate d'alumine. De ces terres, et jusqu'à une profondeur de 2 à 3 mètres et plus, on extrait de nombreux ossements fossiles, généralement intacts, mais très friables, où dominent surtout les restes de l'ours des cavernes (V. la note de la p. 9). Certaines galeries sont de vrais ossuaires. Après avoir été séchés à l'air, ces os contiennent encore 9 à 10 p. 100 d'eau et de 5 à 7 p. 100 d'une matière azotée, soluble en jaune dans les alcalis, se dissolvant dans l'eau et partiellement dans l'alcool après acidulation, mais que je n'ai pu, par aucun moyen, parvenir à séparer complètement du phosphate de chaux. Cette matière azotée organique constitue une modification de l'osséine, autrefois étudiée par M. Scheurer-Kestner.

Comme exemple de la composition de ces os antiques, voici l'analyse complète d'une vertèbre dorsale d'ours des cavernes que j'avais longtemps laissée sécher à l'air après son extraction :

Eau perdue jusqu'à 170°	8,78
Matière organique azotée	5,24
Silice et sable (matériaux accidentels)	2,16
Acide carbonique (CO^2)	2,26
Acide sulfurique (SO^3)	0,28
A reporter	18,72

grotte de Minerve que nous avons plus particulièrement établi les faits qui nous ont conduit aux remarques et théories que nous développons dans ce Mémoire.

(*) Les concrétions calcaires, l'argile et une partie des sables paraissent avoir été amenés par les eaux à travers les fissures rocheuses des parois de la grotte. L'argile est bleuâtre et contient environ 1/2 p. 100 d'acide phosphorique et de l'alumine hydratée. On en trouvera l'analyse ci-après, p. 46.

Report	18,72
Acide phosphorique (P^2O^5) (*)	34,79
Chlore	0,065
Fluor	0,85 (**)
Alumine (avec un peu de fer)	0,61
Chaux	44,59
Magnésie	0,106
Oxyde de zinc	0,149
Plomb	traces
	99,885

En tenant compte de la présence accidentelle dans ces os d'un peu de sable et d'argile, de gypse qu'on y distingue au microscope à l'état préformé, ainsi que de l'existence normale du phosphate tricalcique, les nombres ci-dessus conduisent à la composition suivante :

Eau	8,785
Matière organique azotée (osséine modifiée) (***)	5,241
Silice et sable	2,163
Phosphate tricalcique P^2O^5, 3 CaO	75,486
Fluorure de calcium (uni aux phosphates)	1,714
Chlorure de calcium id.	0,139
Phosphate trimagnésique P^2O^5, 3 MgO	0,231
Phosphate d'alumine P^2O^5, Al^2O^3	0,141
Alumine en excès (avec un peu de fer)	0,547
Carbonate de chaux	5,145
Sulfate de chaux	0,480
Oxyde de zinc	0,149
Oxyde de plomb, nitrates	traces
Total	100,221

(*) On a trouvé dans les ossements séchés à l'air de 34 à 39 p. 100 d'acide phosphorique P^2O^5.

(**) Nombre peut-être un peu faible, étant donnée la méthode de M. Lasne qui a été suivie dans ce cas. Voir, pour le dosage du fluor, *Recherches sur les os modernes*, etc., par A. Carnot (*Annales des mines*, 1893, t. I).

(***) M. Scheurer-Kestner (*Bull. Soc. chim.*, t. XIII, p. 208) a trouvé 8,39 de matière organique azotée (*osséine modifiée*) dans les os de la tête de l'ours des cavernes et 2,52 seulement dans le tibia du même animal.

Ainsi, dans ces os, comme on devait s'y attendre, la matière organique azotée, qui s'élève de 28 à 35 p. 100 à l'état normal, s'est non seulement modifiée, mais elle a disparu en grande partie. La portion minérale s'est corrélativement élevée de 50 ou 60 p. 100 à 76 ou 78 p. 100. L'action des eaux du sol a fait lentement diminuer le chlore uni au calcium ; il a été remplacé par du fluor qui, à l'état de fluorure calcique, s'est aussi substitué au carbonate calcaire en partie disparu. On sait aujourd'hui que ce phénomène singulier se continue indéfiniment dans les dépouilles des animaux fossiles qui s'enrichissent ainsi de plus en plus en fluorures (*A. Carnot*). Il est encore intéressant de trouver dans ces ossements une quantité notable de zinc et une trace de plomb. La présence du premier de ces métaux tient certainement à la nourriture des animaux dans ces pays où la calamine a été découverte depuis le début de ces recherches. Du reste on sait qu'en prenant toutes les précautions désirables, MM. F. Raoult et Breton ont trouvé de 3 à 15 milligrammes de cuivre, et de 10 à 75 milligrammes de zinc, dans le foie normal des animaux, et que MM. Lechartier et Bellamy ont fait de semblables constatations. Ils ont retiré 32 milligrammes d'oxyde ZnO d'un kilogramme de chair de bœuf ordinaire, et 20 milligrammes de 18 œufs de poule. Le zinc existe, en effet, normalement dans beaucoup de végétaux : le blé, l'orge, les haricots, etc.

Ces antiques ossements d'ours, de hyène, de félins, de rhinocéros, etc., sont empâtés dans une terre roussâtre de composition variable. La moyenne de vingt échantillons pris en divers points des galeries, sur une épaisseur de 4 à 5 mètres à partir du sol, a donné, après dessiccation à l'air, les nombres suivants :

Eau perdue jusqu'à 120°	5,81
Perte d'eau au rouge et matière organique azotée (*)	4,33
Sable et argile ferrugineuse, insoluble dans les acides affaiblis et contenant un peu d'acide phosphorique	45,25
Sulfate de chaux (**)	11,31
Carbonate de chaux	4,00
Phosphate tribasique de chaux (***)	17,45
Phosphate d'alumine P^2O^5, Al^2O^3	10,63
Fluorure de calcium	1,83
Magnésie	traces

Ainsi le sol et le sous-sol de la grotte sont formés d'une argile légèrement sablonneuse, presque pure en quelques points, mais le plus généralement traversée de concrétions calcaires et de veinules de gypse déposées par les eaux, argile plus ou moins intimement mélangée à une proportion très notable de phosphate de chaux et de phosphate d'alumine, que l'on peut l'un et l'autre rencontrer même à la surface à l'état presque pur. Le dernier de ces deux phosphates, d'une extrême rareté dans la nature, préexiste bien dans les terres de remplissage de la grotte. On peut, en effet, l'en séparer en traitant ces terres à froid par une lessive alcaline très faible qui le dissout, et le reprécipiter de cette dissolution par un peu d'acide acétique affaibli.

IV. — PHOSPHATES CONCRÉTIONNÉS DE LA GROTTE DE MINERVE. — NOUVEAU TYPE DE PHOSPHORITES.

A la profondeur de 3 à 4 mètres au-dessous du sol de la grotte le terrain durcit, se concrétionne et se trans-

(*) Trouvé : Azote pour 100 de terre séchée à l'air, $0^{gr},3$ à $0^{gr},5$ répondant à 2 à 3,5 p. 100 environ de matières organiques azotées, contenant une très faible proportion de nitrates.

(**) A l'état de concrétions gypseuses directement enlevables par dissolution avec l'eau.

(***) En certains points ce phosphate est en lamelles cristallines microscopiques constituant le phosphate bibasique de chaux ou *brushite*.

forme en une roche jaunâtre, quelquefois grise légèrement teintée de rose ou noirâtre, assez facile à broyer, sans éclat, formant une couche d'une épaisseur de 2 à 9 mètres, suivant les ondulations du terrain permien sous-jacent, roche de composition peu variable. L'analyse de l'un des échantillons-types de ces concrétions jaunâtres séchées à l'air, a donné les nombres suivants :

Eau perdue jusqu'à 175°	11,75
Eau perdue de 175° au rouge avec matière organique azotée (*)	5,43
Silice (**)	13,00
Chaux	16,24
Alumine	24,29
Acide phosphorique (P^2O^5)	27,59
Magnésie, oxyde de fer, SO^3	traces
Chlore	nul
Fluor (***)	2,104
	100,404

En reprenant par une lessive alcaline faible la matière pulvérisée, il est facile de s'assurer que le phosphate d'alumine préexiste tout formé dans ces concrétions. D'autre part, les acides étendus laissent comme résidu insoluble une certaine proportion d'argile. En tenant compte de ces deux observations, on arrive à représenter comme suit la composition de cette roche :

(*) On y a trouvé 0,32 d'azote organique pour 100 de roche. Calculé à l'état d'osséine modifiée, cet azote correspond à 2 p. 100 de matière organique.

(**) En tenant compte de 1,673 de SiO^2 correspondant au fluorure de silicium volatilisé dans le traitement par les acides. C'est là une correction qui a été faite pour tous les cas semblables dans ce mémoire, sachant que 76 de fluor répondent à la volatilisation de 60 de SiO^2.

(***) Dans toutes ces analyses, sauf dans celles des ossements, le fluor a toujours été dosé par l'excellente méthode de M. A. Carnot (voir la deuxième note de la p. 12).

Eau hygrométrique et de constitution (*)	15,278
Matière organique azotée	2,200
Phosphate tribasique de chaux	24,251
Phosphate d'alumine P^2O^5, Al^2O^3	28,327
Alumine en excès	3,612
Fluorure de calcium	4,319
Argile Al^2O^3, $2SiO^2$	19,245
Sable et silice	2,600
Magnésie, oxyde de fer, SO^3	traces
	99,632

On voit que cette roche est formée par une association de phosphate de chaux et de phosphate d'alumine unis au fluorure de calcium dans la proportion de 8,2 de fluorure de calcium $CaFl^2$ pour 100 de phosphates, ou de 15,5 de $CaFl^2$ pour 100 de P^2O^5 (**). Ces fluo-phosphates sont eux-mêmes mélangés d'une quantité très sensible d'argile.

Tous les phosphates concrétionnés que j'ai examinés dans ce singulier gisement ont une composition semblable. Presque toujours la moitié, ou plus de la moitié, de l'acide phosphorique y est combiné à l'alumine, le reste l'étant à la chaux. Voici, comme nouvel exemple, l'analyse d'un bloc grisâtre, marbré par places de tons faiblement roses et traversé de veinules nombreuses de calcaire stalagmitique. Son aspect exceptionnel m'ayant engagé à l'examiner de plus près, je lui ai trouvé la composition suivante :

Eau perdue à 110°	8,46
Eau de 110° à 180°	3,60
A reporter. .	12,06

(*) Déduction faite de celle répondant à l'argile.

(**) Dans les phosphorites calcaires, ou phosphorites habituelles, le fluorure de calcium s'élève à 18 ou 19 parties pour 100 de P^2O^5. Comme on le verra plus loin, le phosphate d'alumine s'unit à une quantité plus faible de fluor que le phosphate calcique.

Report.	12,06
Matières perdues au rouge très sombre, composées en partie de matière azotée	9,76
CO^2 à l'état de carbonates	1,25
Fluor	1,55
P^2O^5	29,98 et 30,56
SO^3	0,206
Chlore total	0,024 (*)
Chaux	19,31 et 20,100
Alumine (unie à P^2O^5)	15,700
Fe^2O^3	1,280
Magnésie	0,700
Alcalis exprimés en soude	0,420
Argile insoluble dans les acides	4,83
Silice libre insoluble dans les acides	2,045
Arsenic, plomb, manganèse	traces
Oxyde de cuivre	0,008
Total	100,494

Si l'on tient compte de l'existence dans ces roches du calcaire concrétionné, du gypse et de l'argile mécaniquement mélangée, on arrive pour l'échantillon ci-dessus à la constitution suivante :

Eau d'humidité	12,06
Eau de constitution (avec un peu de matière azotée) (**)	9,76
Calcaire	2,84
Sulfate de chaux	0,36
Argile	4,83
Silicate de chaux	3,70
Silicate de magnésie SiO^3Mg	1,02
Phosphate tribasique de chaux	27,69
Phosphates d'alumine P^2O^5, Al^2O^3	30,53
Alumine en excès (unie au phosphate précédent)	2,82
Fluorure de calcium	3,12
Chlorure de calcium	0,037
Oxyde ferrique	1,280
A reporter. . .	99,957

(*) Soluble dans l'acide nitrique étendu de deux fois son poids d'eau.

(**) De 2 à 2,2 p. 100 de matière organique azotée.

Report. . . .	99,957
Silice.	0,125
Arsenic, cuivre, traces de plomb et de manganèse (*) . .	0,020
	100,102

Ainsi, contrairement à ce qui se passe pour les phosphates naturels dont on a publié de si nombreuses analyses, et qui contiennent toujours une quantité suffisante de chaux pour saturer complètement, ou presque complètement, l'acide phosphorique et le fluor, dans nos phosphorites, de Minerve, non seulement la totalité de la chaux ne suffit pas à saturer l'acide phosphorique, mais elle est insuffisante même pour faire du phosphate bibasique. Dans l'analyse de la p. 15, pour 27,59 de P^2O^5, il faudrait 32,54 de chaux CaO pour former du phosphate tribasique et 21,76 pour faire du bibasique; or, on n'a trouvé en tout que 16,24 de chaux. Dans l'analyse actuelle, pour 30,56 de P^2O^5, il faudrait 36,05 de chaux pour le phosphate P^2O^5,3CaO, et 24,03 pour le phosphate P^2O^5,2 CaO, H^2O : on n'a trouvé que 20,10 de chaux. Encore, dans les deux cas, une partie notable du calcium est-il à l'état de carbonate, de sulfate ou de fluorure.

C'est que, dans ces phosphorites, une forte proportion, souvent plus de la moitié, de l'acide phosphorique est unie à l'alumine. Les phosphorites concrétionnées de la grotte de Minerve répondent à un nouveau type où sont associés les deux phosphates terreux de chaux et d'alumine (**). Accompagnés d'une proportion variable d'argile, ils forment cette roche par leur mélange plus ou moins intime, mais ils n'y sont pas combinés l'un à l'autre. La

(*) L'arsenic s'y rencontre en proportion très sensible.

(**) Il est probable que quelques phosphates des Ardennes et de l'Auxois, analogues d'aspect aux nôtres, contiennent aussi une certaine proportion de phosphate d'alumine, qu'une analyse plus précise y révélera. Comme on verra plus loin, plusieurs phosphates des guanos des Antilles sont aussi alumineux.

variabilité de leurs proportions suivant les points des galeries d'où on les extrait suffirait à démontrer qu'ils ne sont pas chimiquement unis. L'action de la potasse affaiblie, qui dissout le phosphate d'alumine seul et intégralement à froid, sans toucher à celui de chaux, démontre leur non-combinaison. S'il est nécessaire d'en donner de nouvelles preuves, voici les analyses de deux autres échantillons de ces concrétions, échantillons pris, il est vrai, parmi les plus exceptionnels. L'un *a* gisait sous forme de blocs ovoïdes, très légers, friables, de couleur tourterelle, sur le sol de la galerie dite *des Tribunes*. L'autre *b* faisait partie d'une couche bleuâtre, d'aspect argileux, formée d'une substance très tendre, d'un grain fin et serré, mais d'une matière si légère qu'elle nage sur l'eau et a pour densité apparente 0,49. Cette couche, qui paraît toute locale, fut traversée deux fois par les puits de sondage; elle a été toujours trouvée au contact de la roche dévonienne :

	a.	*b.*
Eau hygrométrique.	9,667	
Eau perdue après 160°.	19,656	26,52
Mat. organique peu azotée détruite au rouge.		8,23 (*)
Argile avec sable siliceux.	2,546	9,89
Phosphate tricalcique.	53,069	11,293
Phosphate neutre d'alumine $(PO^4)^2Al^2$. . . .	6,581	37,974
Phosphate ferrique	trace	2,302
Phosphate de magnésie.	trace	trace
Fluorure de calcium	3,505	0,890
Chlorure de calcium	0,344	nul
Carbonate de chaux.	0,777	trace
Sulfate de chaux.	4,202	trace
Excès d'alumine soluble dans les acides étendus uni au phosphate d'alumine. . .	»	2,746
	100,347	99,845

(*) Matière organique vert noirâtre, glutineuse, très peu azotée, insoluble dans les acides, bouchant tous les filtres.

On voit que, dans ce gisement, quel que soit le point où l'on recueille ces phosphates et quelle que soit la nature exceptionnelle de l'échantillon, toujours le phosphate de chaux tribasique est accompagné d'une quantité notable et souvent prépondérante de phosphate d'alumine. Le type de cette roche est donc fort différent de celui des phosphorites ordinaires où toujours la chaux suffit à saturer l'acide phosphorique. Voici, en effet, comme termes de comparaison, quelques analyses de ces phosphates concrétionnés ordinaires recueillis dans divers terrains géologiques (*).

	SABLES phosphatés de la Somme (Crétacé)		PHOSPHORITES noduleuses de Mons (Craie)	PHOSPHORITES concrétionnées du Berry (Lias)	NODULES de l'Auxois (Infralias)
	A	B	C	D	E
Eau avec un peu de matière organique	2,42	4,71	4,72	»	4,10
Sable, argile, etc.	1,28	3,48	12,99	12,42	14,40
Acide phosphorique (P^2O^5)	38,76	33,77	25,60	25,73	28,59
Acide carbonique (CO^2)	1,66	4,03	5,40	4,10	2,50
SO^3	0,32	1,13	2,43	»	0,17
CaO	48,26	45,48	37,65	36,30	34,49
MgO	0,06	0,07	0,63	1,08	0,18
Al^2O^3	0,22	0,48	1,98	3,68	2,47
Fe^2O^3	0,47	0,82	3,50	4,45	7,24
$CaFl^2$	6,95	6,25	5,09	»	4,90
	100,38	100,22	99,99		99,04
Pour 100 de phosphate de chaux $CaFl^2$ en moyenne					8,75
Pour 100 d'acide phosphorique $CaFl^2$					» 19,01

(*) Ces cinq analyses, prises parmi beaucoup d'autres semblables, sont empruntées à M. Lasne qui a fait une étude complète de ces phosphates et par de bonnes méthodes. A se rapporte à un sable phosphatique riche de Beauval (Somme) de la craie grise à *Belemnitella quadrata*.— B, couche noduleuse à la base de la craie grise, même région. — C, phosphorites noir verdâtres du bois d'Havré, près Mons. — D, phosphorites concrétionnées à texture poreuse du Berry. — E, nodules très tendres, friables, légers, blancs, gris ou jaunes; après dessiccation au soleil ils pèsent 1.000 kilogrammes environ par mètre cube. Dans les analyses A, B et C, la matière avait été séchée au préalable à l'exsiccateur en présence d'acide sulfurique concentré.

Le tableau suivant donne les quantités de chaux CaO *trouvées* et, d'autre part, *calculées à l'état de phosphate tribasique* d'après le poids d'acide phosphorique indiqué dans les cinq analyses ci-dessus :

	A	B	C	D	E
P^2O^5 trouvé dans 100 parties des phosphorites précédentes	38,76	33,77	25,60	25,73	28,59
CaO *calculée* pour constituer du phosphate tribasique avec l'acide P^2O^5 *trouvé*	45,73	39,84	30,20	30,36	33,73
CaO *trouvée par l'analyse*, et déduction faite de la chaux attribuable à CO^2 et à SO^3, ou à l'état de fluorure $CaFl^2$	46,32	40,50	30,30	32,04	31,77

On voit que seule l'analyse E présente un léger déficit sur la quantité *théorique* de chaux nécessaire pour constituer du phosphate tribasique avec l'acide phosphorique trouvé dans ces dosages; mais on remarquera que, dans le cas E, l'oxyde ferrique (7,24 p. 100) sature une partie très sensible de l'acide phosphorique.

Sauf dans quelques très rares gisements de phosphates provenant des guanos, et dont on parlera plus loin, tous les phosphates aujourd'hui connus : phosphates concrétionnés, rocheux, farineux ou sablonneux, d'origine végétale ou animale; phosphates vitreux ou agatiformes déposés par les eaux minérales; phosphates d'origine ignée, etc., tous, quel que soit le gisement étudié, sont formés par du *phosphate tribasique de chaux* uni de 5 à 9 p. 100 de son poids de fluorure de calcium et mélangé ou non d'argile, de sable siliceux, de craie, de sulfates, quelquefois en proportions très variables. Dans ces phosphates ordinaires, l'acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque ammoniacal, ou acide phosphorique dit *assimilable*, ne dépasse jamais de 0,6 à 0,8 p. 100.

Les phosphates de Minerve répondent à un tout autre type. Le phosphate d'alumine s'y trouve en quantité égale ou supérieure au phosphate tribasique de chaux. Plus de la moitié de l'acide phosphorique de ces phosphates se dissout dans les lessives alcalines faibles ou dans le citrate d'ammoniaque ammoniacal. La dose que ce dernier réactif enlève peut s'élever, comme on le verra, presque jusqu'à la totalité de l'acide phosphorique.

Quoique, dans la roche concrétionnée de Minerve, cet acide se partage généralement presque par égales parts entre la chaux et l'alumine, les deux phosphates de chaux et d'alumine sont simplement juxtaposés. Nous avons montré plus haut combien leurs proportions pouvaient varier, et la solubilité de l'un de ces phosphates, celui d'alumine, dans le citrate ammoniacal, suffirait seule à démontrer qu'il n'est pas combiné au phosphate de chaux.

On connaît, il est vrai, deux phosphates doubles de chaux et d'alumine : la *cirrolite*, substance compacte et dure, présentant des traces de clivage, et répondant à la composition : $(P^2O^5, 3CaO)^2\ (P^2O^5, Al^2O^3)\ (Al^2O^3, 3H^2O)$, et l'*herderite* ou fluophosphate double et anhydre d'alumine et de chaux. Un autre minéral, la *tavistockite*, forme une matière pulvérulente composée d'aiguilles cristallines nacrées et de petites étoiles microscopiques; elle répond à la formule $P^2O^5, 3CaO, Al^2O^3, 3H^2O$. Ce sont là des espèces très rares, signalées seulement dans quelques filons quartzeux des terrains anciens et d'origine hydrominérale. Elles montrent toutefois la légère tendance que possède le phosphate de chaux à se rapprocher du phosphate d'alumine et de l'hydrate de cette dernière base. Mais ces trois substances cristallines diffèrent totalement d'aspect, et, comme on le verra, d'origine, de nos phosphates aluminocalciques de Minerve.

Il nous était réservé de trouver, dans ce curieux gisement, le phosphate d'alumine à l'état de pureté presque complète, ainsi que le phosphate bibasique de chaux cristallisé.

V. — MINERVITE; NOUVEAU PHOSPHATE D'ALUMINE HYDRATÉ.

En pratiquant dans le sol une tranchée suivant l'axe de la galerie principale de la grotte et non loin de l'entrée, on a traversé, à une profondeur de $3^m,50$ environ, une veine de $0^m,50$ à $0^m,80$ d'épaisseur formée d'une substance remarquable par sa blancheur de lait et sa plasticité. Sous l'effet de la pression qu'elle supporte de tous côtés, sauf sur le front de taille, cette matière s'écoule lentement et s'épaissit très vite à l'air. Elle se transforme ainsi en une substance concrétionnée blanche, friable, assez légère, à reflets jaunâtres, happant à la langue, semblable à du kaolin. Après qu'elle est restée longtemps à l'air, sa poudre, examinée au microscope, paraît formée de grains cristallins très ténus, de prismes rhomboïdaux et de lamelles en hexagones réguliers ou triangles équilatéraux à extrémités angulaires tronquées. Cet aspect rappelle celui de l'*hydrargilite* ou hydrate normal d'alumine qui, peut-être, persiste dans cette matière en petite proportion. En fait, si la masse paraît en grande partie plus ou moins cristalline au microscope, les cristaux bien nets sont très rares, et à côté d'eux paraissent des granulations amorphes dues à une petite quantité d'argile mélangée à la substance.

Voici deux analyses de cette matière prise en deux points différents, analyses faites après que l'humidité ambiante eût été perdue par une exposition de plus d'une année à l'air.

	I.	II.
Eau perdue jusqu'à 180°	21,40	22,74
Eau perdue de 180° au rouge avec un peu de matière organique azotée	7,89	5,92
Sable quartzeux	0,36	7,38
Argile	11,14	
Phosphate d'alumine P^2O^5, Al^2O^3	52,35	57,30
Excès d'alumine soluble dans les acides	4,71	3,10
Phosphate ferrique P^2O^5, Fe^2O^3	0,24	0,41
Phosphate de magnésie P^2O^5, 3 MgO	trace	1,17
Fluorure de calcium	2,00	2,29
Chlore, SO^3	trace	trace
	100,09 (*)	100,31

M. A. Carnot, à qui je montrai ce phosphate d'alumine, voulut bien me dire qu'en 1882 on lui avait apporté d'une île de la Guyane (l'*île du Commandeur*, pense-t-il), une matière concrétionnée rougeâtre qui donna les résultats suivants à l'analyse :

Eau (et fluor non dosé)	24,00		
Argile	2,00		
Acide phosphorique (P^2O^5)	34,88	répondant à	$P^2O^5.Al^2O^3 = 59,93$
Alumine	28,60		Al^2O^3 en excès = 3,55
Chaux	0,80		
Magnésie	0,15		
Peroxyde de fer	9,00		

Cette analyse n'avait pas été publiée. Sauf la présence d'un peu d'oxyde de fer qui constitue une impureté, cette substance est bien, comme la nôtre, un phosphate d'alumine hydraté légèrement basique.

Grâce à son extrême plasticité, lorsqu'il est encore dans la carrière, le phosphate d'alumine de la grotte de

(*) On a trouvé pour 100 parties : *Eau* perdue jusqu'à 110° = 11,91 ; de 110° à 180° = 9,49 ; de 180° au rouge et matière organique = 7.89 — *Argile* = 11,14 — *Peroxyde de fer* = 0,111 — *Silice* = 0,089 — *Alumine* = 26,39 — P^2O^5 = 30,57 — CaO = 1,35 — *Fluor* = 0,94 — *Chlore, acide sulfurique*, traces.

Minerve se mélange à l'argile et aux sables environnants. On peut l'en débarrasser mécaniquement, mais non complètement. Si l'on fait abstraction du sable et de l'argile qui forment ces veinules ocracées qu'on distingue au milieu de la matière blanche et la souillent, on voit que cette substance est presque uniquement constituée par un phosphate d'alumine hydraté légèrement basique. Le calcium n'y existe qu'en quantité juste suffisante pour saturer le fluor. De même qu'il accompagne le phosphate tribasique de chaux naturel, le fluorure $CaFl^2$ accompagne ici le phosphate d'alumine, mais dans une moindre proportion : 3,14 à 4 de fluorure $CaFl^2$ pour 100 de phosphate d'alumine normal P^2O^5, Al^2O^3.

Si, après un long séjour de cette substance à l'air, on calcule sa quantité d'eau de constitution, on trouve que ce phosphate hydraté répond à la composition

$$P^2O^5, Al^2O^3, 7\,H^2O,$$

formule qui, pour 100 de phosphate d'alumine anhydre, veut 51,6 parties d'eau. Nous en avons trouvé 52,8, chiffre presque exact, si l'on tient compte d'environ 1 pour 100 de matière organique qui vient augmenter un peu le poids apparent de l'eau perdue au rouge.

On verra plus loin que ce minéral résulte de l'action des matières animales en décomposition sur une couche voisine d'argile et d'hydrargilite. L'analyse révèle déjà cette origine. 100 parties de ce phosphate nous ont donné $0^{gr},369$ d'azote ammoniacal. Il y est contenu à l'état de composés amidés que les carbonates alcalins ne décomposent pas, mais dont les lessives alcalines dégagent à chaud de l'ammoniaque en colorant la matière en orange.

Quoique, à l'exception de la turquoise et de la wavellite, les phosphates d'alumine soient à peine connus, on a distingué un certain nombre d'espèces minérales, il est

vrai assez rares, où l'acide phosphorique est uni à l'alumine avec ou sans excès de cette base. Ce sont les suivantes :

La Berlinite	$(P^2O^5, Al^2O^3)^2\ H^2O$.
La Variscite	$P^2O^5, Al^2O^3, 4\ H^2O$.
La Callaïnite	$P^2O^5, Al^2O^3, 5\ H^2O$.
La Gibbsite ou Zepharowichite	$P^2O^5, Al^2O^3, 8\ H^2O$.
La Wavellite	$(P^2O^5, Al^2O^3)^2\ Al^2O^3, 12\ H^2O$ (*).
La Fischerite	$(P^2O^5, Al^2O^3)\ Al^2O^3, 8\ H^2O$.
La Péganite	$(P^2O^5, Al^2O^3)\ Al^2O^3, 6\ H^2O$.
L'Evansite	$(P^2O^5, Al^2O^3)\ 2\ Al^2O^3, 18\ H^2O$.
La Turquoise	$(P^2O^5, Al^2O^3)\ Al^2O^3, 5\ H^2O$.

Parmi ces minéraux, la berlinite, la variscite et la wavellite forment des concrétions, compactes ou cristallines, dans quelques filons quartzeux des terrains anciens ; la callaïnite, la gibbsite, la fischerite, la péganite et l'evansite sont aussi en concrétions obscurément cristallines, déposées par les eaux minérales. Quant à la turquoise, il convient de distinguer entre l'*orientale* ou de *vieille roche*, qui contient de 1 à 7 pour 100 d'oxyde de cuivre et qu'on retire des brèches d'un porphyre trachytique ou d'une limonite (Perse et Turkestan), et la turquoise de *nouvelle roche*, dite encore *occidentale*, que l'on trouve aussi en Perse, où, depuis des siècles, elle est exploitée pour la joaillerie, souvent après avoir été chauffée et modifiée dans des fours spéciaux qui avivent son coloris. Cette fausse turquoise a été signalée depuis longtemps par Réaumur (**) aux environs d'Auch et de Castres ; on l'a

(*) La wavellite contient depuis des traces, jusqu'à 2,27 de fluor pour 100, d'après Rammelsberg. Il est très probable que le fluor se trouve aussi dans les autres phosphates d'alumine où il n'aura pas été dosé.

(**) *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, Année 1715, p. 174. Dans ce mémoire fort curieux, Réaumur raconte comment on avive, en Perse, la couleur des turquoises de nouvelle roche en les chauffant dans des fours spéciaux. C'est une parure de ces dernières turquoises dont le schah de Perse fit, par ses ambassadeurs, présent au roi Louis XIV. Réaumur établit claire-

trouvée depuis en Silésie, en Saxe, en Californie, etc. Cette turquoise ne diffère pas sensiblement de composition de la précédente. Elle peut contenir ou non du cuivre, mais elle doit généralement sa couleur vert bleuâtre à du phosphate ferrosoferrique. Tantôt elle a été déposée par les eaux minérales, tantôt elle provient d'une modification lente de phosphates d'origine animale tels que : dents, os, ivoire, qui quelquefois ont conservé leur forme anatomique qu'on ne saurait méconnaître. On lui donne alors le nom d'*ostéolite*.

Le phosphate d'alumine, trouvé par nous dans la grotte de Minerve, est aussi d'origine animale, comme nous le démontrerons. Comme dans la turquoise de nouvelle roche, on y trouve un peu de matière organique azotée ; comme elle, il contient un léger excès d'alumine sur le phosphate normal ; il est fluoré comme l'ostéolite ; comme elle, il est hydraté. Sa composition $P^2O^5, Al^2O^3, 7\,H^2O$ le rapproche singulièrement de la callaïnite et surtout de la gibbsite $P^2O^5, Al^2O^3, 8\,H^2O$, substance où la quantité d'alumine varie suivant les échantillons, et qu'on a pu même confondre avec l'hydrargilite pure ou presque pure $Al^2O^3, 3\,H^2O$, qui ne contient pas ou ne contient généralement qu'une trace d'acide phosphorique (*).

Le phosphate d'alumine de Minerve microcristallin comme la plupart des autres phosphates d'alumine, soluble dans les acides minéraux très étendus, dans les lessives alcalines faibles et froides et dans le citrate d'ammoniaque ammoniacal, sauf un faible résidu argileux,

ment dans son Mémoire l'origine animale de ces turquoises. Il existe, à la collection de l'École des mines de Paris, un échantillon de turquoise occidentale manifestement dû à la transformation d'un fragment d'ivoire.

(*) On rappellera que la bauxite $Al^2O^3, 2\,H^2O$ contient souvent aussi une quantité sensible de phosphate d'alumine. On peut du reste dire que l'alumine, comme l'oxyde ferrique, a dans la nature une affinité toute particulière pour l'acide phosphorique.

doit être rangé à côté des espèces précédentes. A cause de ses caractères et de sa composition qui le distinguent des autres phosphates d'alumine naturels, je propose de lui donner le nom de *Minervite*, qui rappelle son origine.

VI. — BRUSHITE OU PHOSPHATE BIBASIQUE DE CHAUX CRISTALLIN.

La *brushite* ou phosphate bibasique de chaux

$$PO^4\,Ca\,H,\,2\,H^2O$$

de même que la *métabrushite*

$$(PO^4\,Ca\,H)^2\,3\,H^2O,$$

n'a été signalée jusqu'ici que dans les guanos rocheux des îles Avas et Sombrero des petites Antilles. Nous l'avons recueillie sur le sol et dans les fissures de certaines galeries de la grotte de Minerve (*Galeries des Tribunes; Tête de cheval*, etc.) où elle se présente sous la forme d'une matière pulvérulente chamois clair ou blanchâtre, ou bien en blocs friables, translucides sur les bords, blocs au centre desquels on trouve généralement un noyau de la roche calcaire primitive encore incomplètement transformée en cette substance. Quelquefois la brushite s'attache aux parois des blocs calcaires ou des galeries sous forme de croûtes cristallines à cassure jaunâtre, formées de couches concentriques, provenant évidemment d'une lente corrosion du calcaire par une substance que les eaux ont dû dissoudre, comme en témoigne l'horizontalité du niveau de cette corrosion marquée sur les parois de la grotte. Mais la brushite la plus pure forme une farine à peu près blanche, brillante, presque entièrement composée, lorsqu'on l'examine au microscope, de minces lamelles triangulaires cassées ou tronquées, mais à vives arêtes, reproduisant fréquemment l'angle de 38°, plus rarement celui de 110°. A côté d'elles, on aperçoit des aiguilles plus rares.

Traitée par un acide minéral affaibli, cette substance se dissout en dégageant quelques bulles d'acide carbonique et laissant un faible résidu argileux et organique.

Mise à digérer à froid avec le citrate d'ammoniaque ammoniacal, elle laisse un peu moins de 1 p. 100 de parties insolubles.

Cette poudre cristalline m'a donné à l'analyse les nombres suivants :

	Laissée 18 mois à l'air sec.		Récemment extraite.
	I.	II.	III.
Eau perdue à 160°			19,17
Eau perdue de 160° au rouge avec un peu de matière organique	21,53	21,92	7,88
P^2O^5	41,41	40,58	40,05
SO^3	trace	trace	trace
CO^2	1,35	1,20	trace
CaO	34,04	33,42	30,70
MgO	trace	trace	trace
Al^2O^3	1,70	2,10	1,94
Silice, argile	0,15	0,76	0,01
Oxyde de fer, nitrates	trace	trace	trace
	100,18	99,98	99,75

Il n'y a ni chlore ni fluor.

Laissant de côté l'*analyse* III qui répond à une matière imparfaitement séchée à l'air, si, dans les analyses I et II, on déduit la petite proportion de chaux répondant à l'acide carbonique trouvé, et si l'on met de côté l'alumine à l'état d'hydrate ou d'argile, qui est une impureté, il reste les quantités suivantes de chaux, d'acide phosphorique et d'eau, que nous calculons pour 100 parties :

	Analyse I.	Analyse II.
P^2O^5	43,15	42,85
CaO	34,16	33,99
H^2O	22,57	23,15

Moore et A. Julien, qui ont découvert la brushite dans les guanos des Antilles (*), lui ont trouvé une composition

(*) *Americ. J. Sc.*, t. XL, p. 369 et 371.

répondant, suivant les cas, aux deux formules :

$PO^4CaH, 2H^2O$	Brushite
$(PO^4CaH)^2, 3H^2O$	Métabrushite (*)

soit que ces deux substances diffèrent légèrement, soit que la première réponde à un échantillon imparfaitement sec. La formule $(PO^4CaH)^2, 3H^2O$ de la métabrushite correspond bien à nos analyses. Elle veut pour 100 parties :

		Trouvé en moyenne.
P^2O^5	43,55	43,00
CaO	34,36	34,08
H^2O	22,09	23,36

Enfin, la description que fait Dana de cette métabrushite : *cristaux imparfaits, en lamelles présentant fréquemment l'angle de* 38°, *cassants, de couleur pâle ou incolores, translucides*, répond exactement à la brushite de Minerve.

VII. — ORIGINE DES PHOSPHATES DE CHAUX NATURELS.

Les conditions géologiques particulièrement simples où les phosphates de chaux et d'alumine se sont formés dans les galeries souterraines de Minerve, et les confirmations expérimentales des diverses hypothèses que m'ont suggérés les faits observés dans ce gisement, me permettent d'aborder maintenant l'étude du mécanisme qui a présidé à la genèse de ces substances, et en généralisant ces déductions et observations, de montrer quelle est dans la nature la suite des réactions et des transformations régulières qui rattachent entre eux les phosphorites concrétionnées ou disséminées dans beaucoup de ter-

(*) Trouvé : $P^2O^5 = 42,7$; $CaO = 32,9$; $MgO = 0,5$; $Al^2O^3 = 0,7$; Eau = 21,8.

rains, les guanos et les gisements de nitres eux-mêmes.

Remarquons d'abord que les phosphates minéraux se rencontrent sous trois formes et ont trois origines :

1° Les plus anciens se rencontrent dans les roches ignées, à l'état de grains ou inclusions microscopiques, de cristaux d'apatite, de triplite ou phosphate de fer et de manganèse, d'amblygonite, de fluophosphate d'alumine et de soude et quelquefois de lithine. Ces minéraux phosphorés existent dans les basaltes, trachytes, ophites, laves, etc., et jusque dans les granites (*), les gneiss (**), les pegmatites. Dans les roches volcaniques et les laves elles-mêmes, l'acide phosphorique varie de 0,5 à 3 et 4 p. 100. De là, la fertilité des sols qui sont, comme ceux de la Limagne, formés des détritus de ces roches.

Tous ces phosphates ont pour origine première l'oxydation des phosphures métalliques du noyau central.

2° La seconde catégorie de phosphates naturels est d'origine hydrominérale, ou du moins ceux-ci se rencontrent dans les failles des terrains anciens autrefois parcourus par les émanations venues des profondeurs ou dans des couches remaniées par des eaux chaudes. Telles sont les apatites des filons des terrains cristalliniens avec leurs variétés stalactitiques, granulaires, lamellaires, mamelonnées, cristallines, à structure radiée ou fibreuse ; elles accompagnent souvent le quartz, la fluorine et quelquefois la cassitérite et l'émeraude ; les apatites compactes des schistes amphiboliques de l'Estramadure, du dévonien du Nassau ; la wavellite ou phosphate d'alumine cristallin du dévonien et du jurassique ; avec les apatites, les divers phosphates d'alumine cités plus haut : fischerite, péganite, variscite, evansite, sphaerite, etc., et la turquoise orien-

(*) Bertrand de Lom. *Comptes rendus Acad. sciences*, t. LVII, p. 343.

(**) Dans beaucoup de gneiss, en particulier dans ceux du Canada, on trouve l'apatite en gros prismes hexagonaux.

tale elle-même des brèches porphyriques du Turkestan. A côté de ces phosphates très anciens, il faut immédiatement placer ceux plus récents que M. Daubrée a depuis longtemps démontré avoir été déposés par les eaux thermales dans les failles des terrains jurassiques, crétacés et tertiaires, en France, tout particulièrement dans le Lot et la Corrèze (*), phosphates qui remplissent des fentes ou crevasses *à parois non corrodées* et qui se présentent sous forme de concrétions rubanées, agatiformes, vitreuses, fibreuses ou en masses botryoïdes à grain fin et serré.

Tous ces phosphates d'origine hydrothermale proviennent des minéraux phosphorés d'origine ignée que les eaux ont transformés ou dissous grâce à leur température et à leur richesse en acide carbonique; elles les ont laissé déposer ensuite en s'évaporant. Comme les précédents, ces phosphates vitreux, fibreux ou compactes sont exempts de matières organiques et de nitrates, et très difficilement assimilables par les plantes.

3° La troisième espèce de phosphates, les véritables phosphorites, se rencontrent tantôt sous la forme de concrétions rocheuses sans éclat, chagrinées, souvent poreuses, caverneuses, assez friables, de couleur jaunâtre, grise ou noirâtre; quelquefois à l'état de terre farineuse blanche ou chamois, douce au toucher, ou en nodules facilement pulvérisables et assez légers; souvent sous forme de sables disséminés dans des bancs calcaires ou agglomérés dans des poches ou cavités irrégulières creusées par corrosion de ce calcaire. Cette troisième espèce forme des amas ou concrétions peu homogènes, friables, le plus souvent mélangées d'un peu de sulfate et de carbonate de chaux.

Dans tous ou presque tous les amas de phosphates de cette troisième espèce, on peut distinguer à l'œil ou au

(*) *Compt. rend. Acad. sciences*, t. LXXIII, p. 1032.

microscope de nombreux fossiles (débris d'ossements, écailles et arêtes de poissons, restes de reptiles et d'insectes, spongiaires, rhizopodes, algues, etc.). Enfin tous sont légèrement nitrés et contiennent un peu de matière organique azotée. Les phosphates de cette troisième espèce sont notoirement d'origine animale ou végétale, comme le démontrent avec surabondance ces restes fossilisés, la présence de nitre, de matière organique et de sulfates; enfin leur genèse tout à fait semblable à celle des phosphorites de la grotte de Minerve, comme on le verra plus loin, phosphorites d'origine certainement animale (*).

(*) Pour expliquer la formation des dépôts de phosphates de la craie, MM. Merle, Stanislas Meunier, Lasne, etc., admirent, avec quelques variantes suivant chaque auteur, que les eaux du sous-sol chargées d'acide carbonique rencontrant les phosphates, disséminés dans les terrains anciens et dans la craie elle-même, sous forme d'apatite ou de résidus d'origine hydrominérale provenant des débris de roches primitives, dissolvent ces phosphates, puis, grâce à leur concentration et au départ de l'acide carbonique, les déposent ensuite mélangés au calcaire qui s'était dissous en même temps. Ces dépôts s'enrichiraient ultérieurement peu à peu en phosphates, grâce à la plus grande solubilité du carbonate de chaux dans les eaux souterraines chargées d'acide carbonique, lesquelles, dissolvant plus facilement le calcaire, accumuleraient corrélativement le phosphate de chaux dans les cuvettes favorablement placées. Ainsi se seraient formés, suivant ces auteurs, les sables et amas de phosphates de la Somme et de la Belgique.

On voit que dans cette hypothèse ces phosphates auraient été successivement et complètement dissous par les eaux, et dériveraient tous de phosphates plus anciens et particulièrement d'apatite. Mais, ainsi que MM. J. Cornet et A. Renard l'ont fait voir pour les phosphates de la craie grise de Mons et pour ceux de la Somme, le microscope démontre qu'ils n'ont pu être dissous, puis reprécipités chimiquement tels qu'ils sont aujourd'hui. Ils se composent, en effet, de grains où l'on distingue tous les détails de l'organisme délicat de fossiles des genres *Globigerina*, *Cristellaria*, *Tertulleria*. Ce sont les amas mêmes de ces petits êtres qui, sur place, ont laissé ces phosphates comme résidu. M. Ortlieb (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XVI,

Cette troisième catégorie de phosphates se trouve dans des terrains relativement récents. Ceux de la Somme et de Mons dans le crétacé ; ceux des Ardennes, de la Meuse, du Pas-de-Calais, dans l'infracrétacé ; ceux du Quercy dans l'oligocène ; ceux du Gard, de la Drôme, de l'Ardèche dans l'albien ; ceux du massif de Dekma (département de Constantine) dans le nummulitique. Dans les Vosges, la Côte-d'Or, Saône-et-Loire, la Haute-Saône, les terrains à phosphates se disposent suivant une longue bande qui représente l'ancien contour des mers du lias. Les restes d'algues, de coquillages, de spongiaires, de reptiles, de poissons et la matière azotée que renferment tous ces phosphates, suffirait à démontrer leur origine organique. La plupart proviennent, grâce à un mécanisme dont nous allons parler, de débris animaux ou végétaux ayant vécu sur les rivages ou près des rivages des anciennes mers, et ce phénomène, qui débutait aux temps géologiques

p. 270) attribue, lui aussi, les phosphates de la craie grise de Mons à des amas de guanos géologiques, et M. Lasne lui-même (*Bull. Soc. géol. de France*, 3e série, t. XVIII, p. 451) reconnaît que les accumulations de phosphorites de la craie grise de Doullens débutent par une couche noduleuse, *véritable enchevêtrement de serpules empâtés de phosphates et emprisonnant des spongiaires et de nombreux tests de coquilles*. Mais préoccupé surtout de la composition de ces phosphates, qui d'après ses analyses, d'ailleurs excellentes, répondent à la formule générale de l'apatite $P^3O^{12}Ca^3Fl$, M. Lasne conclut que, malgré toutes ces preuves visibles de leur origine directement organique, ces phosphates proviennent de la dissolution par les eaux carboniques de l'apatite des terrains plus anciens. Cet argument fondé sur la composition chimique ne démontre qu'une chose, c'est la grande stabilité du groupement $P^3O^{12}Ca^3Fl$ de l'apatite. Mais l'on ne saurait nier que le phosphate de chaux des os n'ait une origine animale : or le résidu minéral de l'os calciné répond exactement, comme je l'ai montré il y a longtemps, à la composition $P^6O^{24}Ca^6$ (CO^3, Fl^2, Cl^2) qui est bien celle de l'apatite où le groupement (CO^3) bivalent remplace partiellement, en quantité plus sensible, il est vrai, que dans l'apatite, mais toujours *en proportion équivalente*, Fl^2 ou Cl^2.

où les êtres organisés ont commencé à paraître, se poursuit jusqu'à l'heure actuelle. Des dépôts de phosphates mélangés d'argile et de calcaire continuent à former, en effet, encore aujourd'hui de véritables terrains nouveaux non loin des rivages de l'Afrique australe, aux dépens des débris de matières animales ou végétales qui s'accumulent le long de ces côtes, comme l'ont établi les sondages récents du *Challenger*.

Les phosphates des guanos, et ceux que nous avons rencontrés dans la grotte de Minerve et plus tard dans celle de Bize, ont une origine analogue. Dans ces galeries, transformées aujourd'hui en vastes ossuaires, les grands quadrupèdes quaternaires, les chauves-souris qui habitent encore ces cavernes et l'homme préhistorique lui-même ont, durant des centaines de siècles, accumulé leurs dépouilles et leurs excréments qui, sous l'influence des ferments bactériens et nitriques, se sont peu à peu transformés en nitrates, sulfates et phosphates. Les phosphates ou plutôt les guano-phosphates de Minerve sont donc des guanos en roche, tels que ceux de Pérou, de la Patagonie, des îles des Antilles analysés par Boussingault, Malaguti, etc. Leur origine animale indéniable, la présence dans ces amas puissants de la brushite et du phosphate d'alumine spécial qu'on n'a trouvé jusqu'ici que dans les guanos caractérise bien leur origine et leur nature. Nous pensons du reste que ces phospho-guanos de Minerve sont les premiers dépôts de guanos, ou du moins de guanos en roche, découverts en Europe et non en quantité négligeable, car ce gisement représente à cette heure plus de 120.000 tonnes de guano-phosphates et 300.000 au moins si l'on juge de l'inconnu par le connu.

Mais, grâce aux conditions toutes particulières et relativement simples où ces phosphorites se sont ici formées comme en un vase clos, entre la roche permienne calcaréo-siliceuse et presque inattaquable du sous-sol, et le num-

mulitique des parois latérales et de la voûte qui a fourni, comme on va le voir, la majeure partie de la chaux de ces dépôts, il est possible de préciser la suite des réactions qui ont donné naissance à ces phosphates, et de montrer ensuite que ces réactions n'ont pas été différentes sur les rivages des mers de la craie, du lias ou de l'époque quaternaire alors que se formaient les phosphorites de la Somme, de la Meuse, des Ardennes, ou les guanos rocheux des mers des Antilles et du Pérou.

C'est ce que les observations faites à Minerve et les expériences confirmatives qu'elles nous ont suggérées nous permettent, pensons-nous, d'établir.

Remarquons qu'en se décomposant sous l'action des bactéries *anaérobies* de la putréfaction, les matières albuminoïdes, d'origine animale ou végetale, donnent de l'ammoniaque en abondance, des amides complexes aptes à se détruire à leur tour en produisant de l'ammoniaque et des acides gras et lactiques, de l'acide carbonique en excès, de l'hydrogène sulfuré, un peu d'hydrogène libre et d'azote, enfin des produits phosphorés fixes et volatils (*). Cette première phase ou phase de *réduction* est suivie d'une phase contraire ou d'*oxydation* aussitôt que le dégagement d'acide carbonique a pris fin. Alors intervient l'oxygène de l'air qui, soit directement, soit surtout grâce aux ferments *aérobies*, oxyde les amines qui s'étaient produites et les acides gras ou lactiques de sels ammoniacaux, transforme leur azote en produits oxygénés et change le soufre ou le phosphore des corps sulfatés ou phosphorés en acide sulfurique et phosphorique qui s'unissent à l'ammoniaque et à la chaux, si celle-ci est présente. Le nitre, les sulfates et les phosphates restent toujours, en effet, comme résidus ultimes

(*) Voir A. Gautier et Étard, *Comptes rendus Acad. sciences*, t. XCIV, p. 1357.

de ces fermentations successives qui font disparaître peu à peu la matière organique.

Mais ces sulfates et phosphates résiduels ont plusieurs origines. Pour ne parler que de ces derniers, on sait que les phosphates de potasse, de magnésie et de chaux ne manquent dans aucune cellule végétale ou animale; ils restent donc définitivement en nature, à côté des phosphates du squelette proprement dit après que la putréfaction a pris fin. D'autre part, les tissus mous et les humeurs contiennent presque tous du phosphore à l'état d'acide phosphorique conjugué organique : protagon, lécithine, nucléine, nucléoalbumine (*), etc. Durant la putréfaction, ces substances cèdent la partie phosphorique de leur molécule (au fur et à mesure que celle-ci se désagrège) à l'ammoniaque qui se forme en même temps et de ce phénomène résulte du phosphate d'ammoniaque dont nous allons voir le rôle important.

Mais il est une troisième origine à l'acide phosphorique : c'est l'oxydation directe des phosphines produites dans la période initiale de la putréfaction, ainsi que l'oxydation des principes phosphorés normaux de l'économie qui, tels que la plastine, la jecorine et d'autres principes mal connus, contiennent, sous une forme organique encore mal déterminée, du phosphore souvent en quantité notable. Dans la phase aérobie de ces transformations, ce phosphore s'oxyde sous l'influence des ferments oxydants pour donner de l'acide phosphorique nouveau.

Pour nous rendre compte de l'importance de ce dernier phénomène, nous avons voulu doser le phosphore organique de quelques substances, choisissant particulièrement les tissus mous de l'animal ou des plantes qui nous servent d'aliments les plus usuels. Nous avons, pour cela, fait successivement le dosage du phosphore de ces

(*) Elle contient 0,3 p. 100 de phosphore combiné.

matières sous ses trois états : l'acide phosphorique préexistant a été dosé directement ; le phosphore conjugué l'a été après ébullition des matières avec les acides étendus ; le phosphore organique, après oxydation totale de la matière par calcination avec le nitre et la chaux en excès. Le tableau suivant donne, pour la chair musculaire et la farine de blé, les quantités par 1000 grammes d'acide phosphorique préexistant, conjugué, ou provenant de l'oxydation du phosphore organique qui existait dans l'extrait alcoolique (alcool à 70°) de ces substances. Les nombres suivants doivent être considérés comme des minima :

	Extrait alcoolique de :		
	1000 parties de viande de bœuf.	1000 parties d'extrait de viande.	1000 parties de farine de froment.
P^2O^5 préexistant à l'état libre ou salin	0,079	1,05	0,00
P^2O^5 du phosphore conjugué (lécithines, nucléines, protagon, etc.	0,311	4,15	0,00
P^2O^5 provenant de l'oxydation du phosphore organique indéterminé.	1,149	15,27	0,659

Ainsi, *en dehors de l'acide phosphorique préexistant à l'état de phosphates dans nos tissus*, chaque kilogramme de viande de bœuf contient à l'état conjugué ou organique assez de phosphore pour donner, s'il est complètement transformé en acide phosphorique, $1^{gr},5$ d'anhydride phosphorique répondant à $3^{gr},27$ de phosphate de chaux. Les tissus d'un bœuf entier ainsi transformés produiraient donc au moins 1200 grammes de phosphate tribasique provenant uniquement de son phosphore organique.

Il nous restait à rechercher expérimentalement sous quelle influence le phosphore organique se transforme en acide phosphorique, lorsque, dans la seconde phase de la putréfaction des matières azotées organiques, ce phosphore disparaît. Ce phénomène doit être attribué à l'action des ferments oxydants et particulièrement, pensions-nous d'abord, au ferment nitrificateur. Pour nous renseigner à cet égard, nous avons fait les expériences suivantes.

On a placé dans six grands matras de 5 litres de capacité chacun, du sable grossier lavé aux acides et mélangé de 10 p. 100 environ de calcaire et l'on a stérilisé le tout à l'étuve à 150°. Le sable a été alors arrosé avec de l'eau stérile de façon à le rendre simplement humide, puis additionné dans chacune des fioles d'un poids connu d'extraits alcooliques desséchés A et B d'*urine humaine ;* C et D d'*extrait de viande ;* E et F d'*extrait de farine de froment.* On a enfin ensemencé tous ces matras avec 1 centimètre cube d'une culture de ferment nitrique pur, préparé par M. Muntz (*), et l'on a placé le tout dans l'obscurité ; les matras étaient fermés seulement par un large bouchon d'ouate stérilisée et agités de temps en temps.

Au bout de trois mois, on a extrait ces cultures par l'eau faiblement acidulée (mélange de 100 grammes acide nitrique, 30 grammes acide sulfurique et 200 grammes d'eau), on a saturé les liqueurs filtrées par de l'ammoniaque concentrée, repris par un peu d'acide nitrique et précipité les liqueurs filtrées ainsi obtenues par le mélange nitro-magnésien. On a dosé l'acide phosphorique dans le précipité formé. Voici les résultats obtenus :

	P^2O^5 préexistant.	P^2O^5 total après oxydation.	P^2O^5 formé par oxydation.
A et B. *Extrait urinaire* . . .	0,0007	0,0005	0,000
C et D. *Extrait de viande*. . .	0,0262	0,0248	0,000
E et F. *Extrait de farine*. . .	0,0000	0,008	0,008

Il suit de là qu'une portion généralement minime et quelquefois nulle du phosphore organique de nos extraits

(*) Le centimètre cube contenait $0^{gr},001$ de PO^4K^2H cristallisé, qu'on a déduit dans les résultats indiqués au tableau.

s'est transformée sous l'influence du ferment oxydant nitrique en acide phosphorique qui s'est uni à la chaux.

Mais dans la nature l'oxydation du phosphore organique est totale : après que les matières végétales ou animales ont subi la fermentation bactérienne, les ferments d'oxydation les plus divers reprennent les produits de cette fermentation anaérobie initiale, les oxydent, transforment leur soufre organique en sulfate, leur phosphore en acide phosphorique, leur azote en azotate, et nous trouvons, en effet, que dans les résidus ultimes de ces fermentations les sulfates, phosphates et nitrates de chaux, quelquefois d'ammoniaque, s'accompagnent toujours.

Ainsi produit, l'acide phosphorique, aussi bien celui qui était en puissance et préformé dans les lécithines, névrines, nucléines, etc., que celui qui résulte de l'oxydation du phosphore organique par les ferments aérobies, s'unit d'abord à l'ammoniaque qui se forme abondamment par la destruction des corps amidés. La production de ces phosphates, comme termes intermédiaires, et particulièrement du phosphate bibasiqne $PO^4(AzH^4)^2H$ résultant de la dissociation à l'air du phosphate triammoniacal $PO^4(AzH^4)^3$ peut être expérimentalement démontrée. Elle a été d'ailleurs déjà observée par Chevreul qui, sans en tirer d'autres conséquences, en étudiant les guanos du Pérou, y rencontra le phosphate biammoniacal sous forme de parcelles ou de plaques translucides, semblables à du verre à vitre confusément cristallisé, faciles à séparer du reste du guano pétrifié (*). On ne saurait donc mettre en doute la production de ce sel au cours de la putréfaction ordinaire, et cette remarque va nous permettre de suivre pas à pas la genèse des phosphates de chaux naturels.

(*) Chevreul, *C. rend. Acad. sciences*, t. LXXVI, p. 1378 et 1500. L'ammoniaque ne peut être transformé en nitre par oxydation dans le milieu fortement alcalin et ammoniacal qui résulte de l'action des bactéries, milieu où ne saurait prospérer le ferment nitrique.

Entraînés par les eaux souterraines, ces phosphates d'ammoniaque d'origine bactérienne imprègnent le calcaire qu'ils rencontrent et le transforment en phosphate bibasique ou tribasique de chaux, suivant les proportions du sel ammoniacal et son état de dissociation à l'air :

$$\underset{\text{Phosphate biammoniacal.}}{PO^4(AzH^4)^2H} + CO^3Ca = \underset{\text{Phosphate bibasique de chaux.}}{PO^4CaH} + \underset{\text{Carbonate d'ammoniaque.}}{CO^3(AzH^4)^2}.$$

Au contact du calcaire, le carbonate d'ammoniaque ainsi formé s'oxyde à son tour aux dépens du ferment nitrique et donne du nitrate de chaux, troisième phase de ces transformations successives, sur laquelle nous reviendrons plus loin, car c'est à elle que se rattache la production des nitres naturels.

Quant à cette formation du phosphate de chaux aux dépens du calcaire et sous l'effet du phosphate d'ammoniaque dont nous avons vu plus haut l'origine bactérienne, nous avons aussi voulu en avoir la démonstration expérimentale. Du phosphate d'ammoniaque ammoniacal, dissous dans l'eau, fut additionné d'un excès de craie; le mélange fut chauffé dans un ballon ouvert vers 85° pour hâter la réaction. On se bornait seulement à renouveler l'eau, à mesure qu'elle s'évaporait. Dès le début et jusqu'à la fin, il se dégagea de l'ammoniaque et de l'acide carbonique. Après 80 heures, on mit fin à l'expérience. La matière pulvérulente qui restait fut lavée à l'eau et analysée après dessiccation prolongée à l'air. Elle présenta la composition centésimale suivante :

Craie inattaquée	5,66
Phosphate tribasique de chaux	11,28
Phosphate bicalcique $(PO^4CaH)^2\,3\,H^2O$	82,78

Lorsqu'à l'état humide, on met à son tour le phosphate

bibasique de chaux ainsi formé en présence de craie en excès, il se change lentement en phosphate tribasique.

Il est donc expérimentalement établi qu'une partie au moins du phosphate tricalcique et de la brushite que nous avons rencontrée dans la grotte de Minerve et qu'on trouve dans plusieurs guanos rocheux (*), résulte de l'action sur le calcaire des phosphates d'ammoniaque provenant eux-mêmes de la destruction bactérienne des matières organiques azotées et phosphorées. Comme dans nos expériences de contrôle, dans la nature la brushite se forme généralement en même temps que le phosphate tricalcique; mais bien plus soluble que celui-ci dans les eaux, elle est entraînée par les infiltrations souterraines et se transforme en phosphate tricalcique au contact du calcaire ambiant ou rocheux et se dépose souvent alors sous forme de concrétions farineuses cristallines, tandis que le phosphate tribasique peu soluble ou insoluble reste sur place.

Ces phosphorites concrétionnées ou cristallisées peuvent être mélangées aux débris osseux et autres restes calcifiés des animaux primitifs, mais, pour une bonne part, ils n'en proviennent pas directement comme on serait disposé à le croire *a priori*. Dans la grotte de Minerve en particulier, les ossements des grands animaux se sont conservés intacts; au contraire, les dépouilles qui les

(*) On a signalé la brushite seulement dans quelques guanos des Antilles, mais de fait, on la trouve dans la plupart des guanos rocheux. Boussingault a trouvé dans ceux des îles Chinchas (*C. rend. Acad. sciences*, t. LI, p. 816) :

Phosphate de chaux tribasique	19,52
Phosphate bibasique de chaux	6,71

et Malaguti a rencontré dans ceux de Patagonie :

Phosphate tricalcique	56,77
Phosphate bicalcique	10,20

enveloppaient ont disparu, transformées d'abord en sels ammoniacaux, et ce sont ces sels qui, dissous par les eaux, sont venus à leur tour attaquer la roche calcaire des parois de la grotte. Ce phénomène est frappant dans nos galeries; partout où les eaux ont pu séjourner, on voit les parois nummulitiques attaquées suivant un niveau horizontal et transformées en phosphates sur une épaisseur de quelques millimètres. Ces croûtes ont donné à l'analyse la composition moyenne suivante :

Eau et traces de matières organiques	24,99
Calcaire	3,13
Argile et silice	5,56
Phosphate tribasique de chaux	58,66 (*)
Phosphate bicalcique PO^4CaH	5,12
Fluorure de calcium	1,41
Sulfate de chaux	très sensible.

Dans les galeries profondes de la grotte, les eaux phosphatiques ont baigné durant des siècles les blocs calcaires tombés de la voûte ou des parois et les ont peu à peu corrodés jusques au cœur et transformés en phosphate de chaux, lorsqu'ils n'étaient pas de trop fort volume. Si ces blocs sont plus volumineux, de un quart à un demi-mètre cube et plus, ils ont été changés en la même substance blanche et friable; mais lorsqu'on casse ces gros blocs, on trouve en leur centre un noyau dur, encore persistant, de la roche nummulitique primitive, témoin irrécusable de l'origine de la chaux de ces phosphates et du mécanisme dont ils dérivent. L'analyse de cette poudre farineuse ainsi formée aux dépens du calcaire nummulitique qu'elle a souvent entièrement transformé, nous a donné les nombres suivants :

(*) Le nummulitique ainsi transformé ne contenait, d'après l'analyse que nous avons faite de cette roche, que 0,2 à 0,3 p. 100 d'acide phosphorique; l'argile et la silice que nous trouvons ici dans les croûtes superficielles phosphatées préexistaient dans la roche calcaire primitive. Nous nous en sommes assuré.

Eau (avec un peu de matière organique azotée)	21,60
Silice et argile	2,24
Calcaire	3,31
Sulfate calcique	3,67
Phosphate tribasique de chaux $(PO^4)^2 Ca^3$	31,32
Phosphate bibasique de chaux $PO^4 CaH$	34,84
Fluorure de calcium	2,09
Alumine (avec un peu de fer) soluble dans les acides	0,61
	99,68

Cette poudre est donc essentiellement formée d'un mélange de phosphates tribasique et bibasique de chaux presque à parties égales, ayant emprunté toute sa chaux au calcaire lentement attaqué par les eaux phosphatiques ammoniacales résultant du lavage des matières animales primitives.

La quantité d'acide phosphorique correspondant à 34,84 de phosphate bibasique de chaux est de 19,42. On a trouvé, en traitant directement la poudre de ce phosphate par le citrate d'ammoniaque ammoniacal : acide phosphorique dissous 19,01, nombre presque théorique qui démontre que, dans ces phosphorites, la totalité de l'acide phosphorique qui est à l'état de phosphate bibasique est sous la forme dite *assimilable*, comme celle qui est à l'état de phosphate d'alumine.

VIII. — FORMATION DES PHOSPHATES NATURELS D'ALUMINE, DE FER, ETC.

On vient de voir qu'au contact du phosphate d'ammoniaque, le calcaire se transforme en phosphates bibasique et tribasique de chaux. Que ce phosphate d'ammoniaque ait pour origine la décomposition bactérienne, puis l'oxydation des matières azotées animales ou végétales, ou bien qu'il soit d'origine plus ancienne et provienne des réactions du noyau central (on sait que l'ammoniaque, le chlorhydrate et le sulfate d'ammoniaque accompagnent les éruptions volcaniques, et que décomposés par la vapeur d'eau, les phosphures métalliques donnent de l'hydrogène phosphoré et par oxydation de l'acide phosphorique), ce phosphate d'ammoniaque, dès qu'il est dissous par les eaux, attaque les oxydes et carbonates qu'il rencontre. Ainsi se forment non seulement les phosphates calcaires d'origine hydrothermale ou putréfactive, mais, comme nous allons le montrer, les divers phosphates d'alumine, de fer, de cuivre, etc.

Formation des phosphates d'alumine. — On a vu que le phosphate d'alumine accompagnait le phosphate de chaux, par égale part à peu près, dans les phosphorites concrétionnées de la grotte de Minerve, et qu'on avait pu même le recueillir dans ce gisement à l'état presque pur. C'est grâce à l'action du phosphate d'ammoniaque résultant de la destruction d'un banc de matière organique azotée (dont on suit très bien la trace) sur une couche voisine d'hydrargilite ou d'argile qui a pénétré dans la grotte par les fissures de la roche, que s'est produite dans la grotte de la Coquille la minervite $P^2O^5, Al^2O^3, 7H^2O$ que j'y ai découverte.

Une argile mêlée de bauxite ou d'hydrargilite pénètre encore aujourd'hui par différentes fissures de la voûte et des parois de la grotte et y forme des amas (*Montagne d'argile*, *Tête de cheval*). C'est aux dépens de cette matière que le phosphate d'alumine a dû se former autrefois. J'ai voulu connaître la composition de ces argiles en amas. Voici celle d'un échantillon pris à la *Tête de cheval*. Il était bleuâtre, gris après dessiccation, mélangé de quartz en très petits débris et de calcaire.

L'analyse m'a donné :

Eau perdue jusqu'à 180°	15,51
Eau de 180° au rouge (avec très peu de matière organique)	8,50
CO^2	11,76
CaO	14,79
MgO	0,091
SiO^2 (à l'état de quartz insoluble dans la soude après désagrégation par SO^4H^2)	13,94
SiO^2 combiné (à l'état de silicates)	16,08
Al^2O^3 dont 6,53 soluble en HCl au 10e	16,46
Fe^2O^3 partiellement soluble en HCl au 10e	3,21
P^2O^5	0,576
Acide titanique TiO^2	0,80
Acide vanadique	très peu
	101,72

Ces résultats, en tenant compte de l'état des diverses substances ci-dessus dosées, conduisent à la composition suivante :

Eau de constitution et hygrométrique (en faible partie).	15,51
Eau de constitution et traces de matières organiques.	8,50
Calcaire	26,42
Carbonate de manganèse	0,187
Quartz	13,94
Argile	27,03
Alumine en excès (à l'état d'hydrate)	5,29
Phosphate ferrosoferrique	1,23
Sesquioxyde de fer en excès (bauxite, limonite)	2,55
Acide titanique	0,80

On voit que cette argile, d'ailleurs presque exempte de calcaire en d'autres points, contient de l'hydrate d'alumine apte à se transformer en phosphate sous l'action du phosphate d'ammoniaque autrefois produit.

C'est par l'action du phosphate d'ammoniaque sur les argiles et hydrargilites que se sont formés les phosphates d'alumine mélangés au phosphate de chaux que l'on a signalés en quelques rares gisements : dans la petite île d'*Alta Vala* près de Saint-Dominique, dans celle de

Redonda (Mexique), dans celle du *Commandeur* (côtes de la Guyane), îles à guano où les produits ammoniacaux provenant de la décomposition de matières animales ont attaqué et phosphatisé les roches sous-jacentes (*).

Il m'a été facile de reproduire ces faits expérimentalement. J'ai délayé 15 grammes environ d'alumine à l'état de précipité gélatineux dans une solution en excès de phosphate d'ammoniaque ordinaire. J'ai laissé ce mélange à l'air vers 30° jusqu'à dessiccation complète. J'ai lavé alors complètement le résidu à l'eau, puis je l'ai redissous dans l'acide chlorhydrique étendu, et j'ai précipité à froid de cette solution, par l'acétate sodique en excès, le phosphate d'alumine qui s'était formé. Je me suis assuré que *toute l'alumine employée avait ainsi disparu*, transformée à la température ambiante en phosphate d'alumine très obscurément cristallin, formé de petites lamelles triangulaires ou de prismes. L'analyse de cette substance après dissolution, précipitation et dessiccation dans le vide, conduit à la formule P^2O^5, Al^2O^3, $7H^2O$ qui répond exactement à la minervite.

L'argile elle-même paraît accessible à l'action du phosphate d'ammoniaque. J'ai chauffé à 85° environ, pour hâter la réaction, $11^{gr},5$ de kaolin et 18 grammes de phosphate d'ammoniaque dissous. Après 90 heures, j'ai lavé le résidu à l'eau chaude et je l'ai traité par de l'acide chlorhydrique faible, enfin j'ai précipité cette solution par un excès d'acétate sodique. J'ai obtenu ainsi $0^{gr},62$ de phosphate d'alumine contenant un très léger excès d'alumine.

Au contraire, il ne se fait pas de phosphate d'alumine

(*) On a remarqué que sur les récifs coralliens calcaires où les oiseaux de mer déposent leurs excréments, la roche est attaquée sur une forte épaisseur et en partie dissoute et transformée en phosphates par les eaux provenant du lavage de ces guanos.

par digestion de l'argile avec le phosphate bibasique de chaux.

Les faits précédents expliquent la genèse de ces gisements de phosphates d'alumine. Ils donnent aussi la clef des phénomènes qui se produisent dans le sol arable, partout où la matière azotée détruite par les ferments bactériens rencontre le calcaire ou l'argile. L'acide phosphorique et le phosphate d'ammoniaque qui s'y forment attaquent ces roches et donnent un mélange de phosphate de chaux et d'alumine.

La facile solubilité de ce dernier sel dans les lessives alcalines faibles permet de s'assurer de sa présence dans les sols arables. Voici, comme exemple, deux dosages d'acide phosphorique à l'état de phosphates calcique et alumineux que j'ai faits sur deux terres fort dissemblables :

	Terre calcaire de Grignon. Sans engrais.	Terre de la Limagne (origine volcanique). Sans engrais.
P^2O^5, total.	0gr,069	0gr,216
P^2O^5 uni à la chaux	0 ,061	0 ,209
P^2O^5 uni à l'alumine	0 ,008	0 ,007

pour 100 parties de terres séchées à l'air.

J'ai fait enfin la remarque que le phosphate d'alumine est très soluble dans le lactate d'ammoniaque surtout ammoniacal, l'un des produits les plus importants de la fermentation bactérienne des matières animales. Cette solubilité dans les sucs du terreau ou des fumiers, et en petite proportion dans les divers sels ammoniacaux, assure la facile assimilation du phosphate d'alumine par les plantes.

Formation des phosphates de fer. — Les phosphates ferreux résultent aussi de l'action du phosphate d'ammoniaque sur le carbonate ferreux, ainsi que je m'en suis

directement assuré. C'est là, très certainement, l'une des origines, la principale peut-être, de la vivianite $(PO^4)Fe^3, 8H^2O$ et de la dufrénite (phosphate ferrosoferrique hydraté) substances signalées dans les terrains d'origine ignée, aussi bien que dans les coquilles et os fossiles, et jusque dans la vase des marais.

L'expérience suivante éclaire le mécanisme de leur formation. Huit grammes de sidérose blanche des Pyrénées ont été très finement pulvérisés et mis en suspension dans l'eau bouillie additionnée d'un excès de phosphate d'ammoniaque. Le tout, placé dans un ballon, ouvert seulement par un tube effilé, fut chauffé, sans discontinuité, durant 210 heures à la température de 83°. Dès le début, et jusqu'à la fin, il se dégagea, mais très lentement, de l'acide carbonique et de l'ammoniaque. Après chauffage, on recueillit et lava rapidement la matière insoluble, presque blanche, restée dans le ballon (elle tend à verdir très vite à l'air en s'oxydant) et on la sécha dans le vide. Elle était formée, en partie du moins, de très petites aiguilles microscopiques, et répondait à peu près à la composition $(PO^4)^2Fe^3, 6H^2O$:

	Trouvé.	Théorie pour $(PO^4)^2Fe^3, 6H^2O$.
Eau.	22,31	23,17
P^2O^5.	30,69	30,47
Fe.	36,12	36,05
CO^2.	0,37	0,00
O par différence	10,51	10,30

La presque totalité de la sidérose avait donc été transformée par le phosphate d'ammoniaque en phosphate ferreux $(PO^4)^2Fe^3, 6H^2O$. On sait que la vivianite blanche ou verdâtre, la plus pure, répond à la formule $(PO^4)^2Fe^3, 8H^2O$. La température, plus basse que dans notre expérience, à laquelle elle se forme dans la nature, et la dessiccation dans le vide que nous avons fait subir à notre

substance avant de l'analyser, explique cette différence de deux molécules d'eau.

Formation des phosphates de cuivre. — Nous nous sommes qualitativement assuré que des transformations semblables se produisent quand on remplace l'alumine ou le carbonate ferreux par des hydrates, oxydes ou carbonates de cuivre. On s'explique ainsi que le phosphate de ce métal accompagne souvent le phosphate de chaux ou la vivianite, dans la turquoise, l'odontolite, etc. C'est ainsi que doivent se former aussi la *liebethenite* $(PO^4)^2Cu^3, CuO, H^2O$ et la *lunnite* $(PO^4)^2Cu^3, 3CuO, 3H^2O$.

IX. — NITRIFICATIONS QUI ACCOMPAGNENT LA PHOSPHATISATION.

On a dit que les phosphates de la grotte de Minerve contiennent une trace de nitre et un peu de matière azotée organique. Il en est de même de presque tous les phosphates concrétionnés naturels, où le microscope, comme la composition chimique, révèle l'origine animale ou végétale. La production des salpêtres potassique et calcaire et la formation des nitrates de soude naturels sont en effet très intimement liées à celle des phosphates.

On a vu que dès leur première phase de décomposition, les matières albuminoïdes donnent, par fermentation bactérienne, du phosphate d'ammoniaque, et que, dissous par les eaux et mis au contact du calcaire, ce sel forme bientôt du phosphate de chaux bibasique ou tribasique et du carbonate d'ammoniaque naissant. En s'oxydant, grâce au ferment nitrique, ce dernier se transforme en acide nitrique et, en présence du calcaire, en nitrate de chaux. Grâce à sa grande solubilité, le nitrate calcique est généralement dissous et entraîné par les eaux souterraines, à moins de conditions spéciales de sécheresse, telles que celle qu'on rencontre dans les cavernes calcaires du Kentucky où on le recueille à l'état naturel, ou dans les sables de l'Inde et de Ceylan.

Dans les déserts qui séparent le Chili du Pérou, ce nitre calcaire subit une nouvelle transformation. Là, sur un sol argilo-calcaire peu perméable, imprégné de sel marin qui souvent y forme des bancs exploitables, sous un climat chaud où il ne pleut presque jamais, les nitrates provenant de la destruction des antiques guanos des oiseaux de mer qui viennent encore nicher et déposer leurs déjections dans les régions montagneuses qui entourent ces déserts, en particulier le nitrate calcique formé comme on l'a dit ci-dessus, a pénétré peu à peu le sol après s'être liquéfié, grâce à son extrême hygrométricité et aux rosées abondantes que provoque le refroidissement de l'air de la nuit dans ces régions. Là, ce nitrate a rencontré le sel marin, et du contact prolongé de ces deux substances est résulté du chlorure de calcium, sel déliquescent qui a disparu en partie et du nitrate de soude qui, mélangé au chlorure de sodium excédent, a formé la roche nitrée et salée, le *Caliche* du désert de Tarapaca ou de la presqu'île de Mejillones que l'on exploite depuis longtemps pour son nitre et son iode.

Je me suis directement assuré que la réaction du nitrate de chaux ou même du nitrate d'ammoniaque, de la craie et du sel marin donne bien naissance au nitrate de soude. J'ai mis ces trois substances imprégnées d'eau dans une capsule que j'ai chauffée douze jours au bain de sable vers 80°. La masse reprise par l'eau chaude a laissé la craie excédente. La solution a été évaporée et reprise par l'alcool à 90° pour dissoudre l'azotate de chaux qui restait et le chlorure de calcium formé. Après lavage à l'alcool, on obtient un magma formé de sel marin et d'azotate sodique, sels qu'on sépare en recourant plu-

sieurs fois aux cristallisations dans l'eau bouillante. Le sel marin se sépare d'abord. Les eaux mères concentrées donnent un mélange de 25 parties environ de chlorure de sodium et de 75 parties de nitrate sodique. Une nouvelle cristallisation abandonne ce dernier sel purifié à 91,5 p. 100. Je l'ai définitivement caractérisé par son analyse directe, et par la mesure de l'angle $p.p = 106°,3$ de son rhomboèdre.

On ne saurait douter que les nitres du Pérou ne se soient ainsi produits (*). D'une part, on trouve dans cette région du désert de Tarapaca, et dans la presqu'île de Mejillones, les *salares* ou salines naturelles provenant d'anciens lacs salés évaporés par la chaleur solaire; de l'autre, on rencontre souvent sous ces couches de sel ou de nitre, quelquefois à côté d'elles, des bancs de guano en partie transformé, qui démontrent l'origine de l'azote de ces nitrières. Enfin les iodates le plus généralement mélangés à ces nitres, témoignent à leur tour que ces dépôts sont bien les produits de la décomposition, puis de l'oxydation consécutive des déjections des oiseaux de mer qui, nourris d'algues et de mollusques marins, ont fourni la matière organique iodée et bromurée dont l'oxydation ultérieure par les ferments nitrifiants, ou plus généralement par les microbes oxydants, a formé les iodates et bromates

(*) M. Müntz, dans un Mémoire publié aux *Annales de chimie et de phys.*, 6e série, t. XI (mai 1887), avait établi, avant moi et sans que je connusse ses recherches, la transformation du nitrate de chaux en nitrate de soude sous l'influence du sel marin. Nos deux démonstrations concordent, et nos opinions se confondent presque sur l'origine des nitrates de soude du Chili. Quoique depuis 1876 j'expose cette théorie dans mes leçons publiques, je n'en avais pas encore la confirmation expérimentale. Les expériences de M. Müntz et les miennes l'ont donnée. M. Müntz a de plus démontré que les iodures et bromures forment, sous l'influence du ferment nitrique, des iodates et bromates, sels qu'on retrouve dans les nitres du Chili.

que l'on trouve toujours en faible quantité dans ces nitres. Les acides nitrique, iodique, phosphorique et sulfurique unis à des bases diverses, se présentent donc ici comme les quatre termes concomitants et nécessaires de l'oxydation par les ferments oxydants, de l'azote, de l'iode, du phosphore et du soufre, éléments qui, à une certaine époque, ont coexisté dans les matériaux organiques ayant servi de pâture aux oiseaux de mer qui ont déposé les guanos d'où proviennent ces nitres.

NOTE SUR L'APPAREIL FLAMACHE

POUR LE CANTONNEMENT DES TRAINS

Par M. BEAUGEY, Ingénieur des mines.

L'Administration des chemins de fer de l'État, a mis en service en 1889, à titre d'essai, l'appareil imaginé par M. Flamache pour le cantonnement des trains, sur les sections à double voie de Loudun à Arçay et de Beillant à Pons. Les résultats obtenus ayant été satisfaisants, les appareils installés à titre provisoire ont été définitivement acquis. Ces appareils différant assez notablement des appareils décrits par M. Huberti dans la *Revue universelle des Mines*, t. XI, 2e série, 1882, il nous a paru intéressant de les faire connaître : nous avons été amené à les étudier comme ingénieur du contrôle, et la présente note n'est guère que la reproduction du rapport que nous avons fourni à l'Administration sur leur fonctionnement. Nous devons à M. Larmoyer les dessins des appareils, qu'il nous a adressés avec de nombreux renseignements.

Nous examinerons successivement les diverses parties dont se compose un appareil. Le signal s'adressant aux agents des trains est du type ordinaire : un mât à deux grandes ailes. La voie est normalement fermée. Chaque aile est manœuvrée par un levier L (*fig.* 1 et 2, Pl. I), mobile autour d'un axe horizontal et enclenché avec la manivelle de manœuvre de l'appareil électrique de la manière suivante : ce levier est relié, par l'intermédiaire d'un balancier *b* et d'une tringle *c*, à un levier coudé *rs* (*fig.* 4) dont le bras *t* constitue un taquet qui vient buter contre un disque E porté par l'arbre de la manivelle de manœuvre de l'appareil électrique. Ce taquet s'oppose ainsi normalement au renversement du levier, c'est-à-dire à l'effacement du bras sémaphorique correspondant. Mais le disque E porte une encoche qui permet cette manœuvre lorsqu'elle se trouve en face du taquet. On ne pourra donc ouvrir la voie que lorsque ce disque, et par suite la manivelle, occupera une position déterminée (*position droite, voir plus loin*). De plus, lorsque la voie sera ouverte, le taquet immobilisera la manivelle dans cette position, de sorte que pour la manœuvrer il faudra préalablement fermer la voie.

APPAREIL DE COMMUNICATION.

L'appareil de communication comprend :

1° Le transmetteur, le récepteur et le commutateur, qui sont actionnés tous trois par la manivelle dont nous venons de parler ; 2° les indicateurs, les sonneries et la pédale. Un poste intermédiaire comprend deux appareils ainsi composés, l'un pour la circulation dans un sens, l'autre pour la circulation en sens contraire. La manivelle peut prendre trois positions, verticale (*inférieure*), droite (*supérieure*) et gauche (*supérieure*), que nous désignerons par les lettres V, D, G (*fig.* 3) ; la rotation de cette manivelle se fait dans les deux sens, de V à D ou à G, et inversement ; elle est limitée à l'angle séparant D et G qui est de 300°, soit 150° de V à D et 150° de V à G.

Transmetteur. — Le transmetteur consiste en un électro-aimant E_1, commandant une armature de forme spéciale B dite *butoir*, oscillant autour d'un axe horizontal (*fig.* 5). Ce butoir est formé de l'armature de fer

doux *ff* et d'une pièce en cuivre présentant la forme indiquée sur les *fig.* 5 et suivantes.

L'arbre de la manivelle porte en face du butoir deux cames P et *n*; *n* est fixée sur l'arbre, P peut tourner librement sur cet arbre, d'un angle limité, étant portée à cet effet par un manchon échancré mobile dans cette mesure sur l'arbre ; on voit que P peut, dans certaines positions, ne pas être entraînée par la manivelle, et être entraînée dans d'autres positions ; les déplacements des deux cames ne sont solidaires que lorsque le manchon mobile est entraîné par l'arbre ; les *fig.* 5 à 10, sur lesquelles la position de la manivelle est figurée par un trait pointillé, permettent de se rendre compte des diverses positions que peuvent prendre le butoir et les cames. On voit notamment sur la *fig.* 10, que quand le butoir est adhérent, la manivelle, si elle peut quitter la position V, ne peut toutefois arriver jusqu'à la position G, la came *n* venant buter contre le talon L du butoir.

Le transmetteur est complété par l'interrupteur I (*fig.* 5 à 10), qui se compose de deux lames élastiques communiquant l'une avec le fil de ligne, l'autre avec l'électro-transmetteur et la pile. On verra par la suite le rôle de cet organe.

Récepteur. — Le récepteur (*fig.* 11 à 14) est placé derrière le transmetteur ; il consiste en un électro-aimant E_2, commandant une armature de forme spéciale, dite *crochet;* le crochet est formé par l'armature de fer doux *ff*, qui porte une pièce en cuivre de forme spéciale et mobile autour d'un axe O' ; la pièce en cuivre porte une encoche, dans laquelle peut venir se placer le bec d'une came entraînée par l'arbre de la manivelle de l'appareil (arbre qui porte déjà, comme nous l'avons dit, les cames en relation avec le butoir), auquel elle est invariablement liée ; de la sorte, le crochet ne s'oppose jamais au mouvement de la manivelle dans le sens D, V, G; mais il s'oppose, dans certaines positions, au mouvement en sens inverse ; quand la manivelle est verticale, il sera impossible de l'amener à la position D si l'électro-aimant n'agit pas (*fig.* 12).

Dans la position V (*fig.* 11), cette came maintient le crochet en contact avec l'électro.

Remarque. — On voit que : 1° pour faire passer la manivelle de V à G, il faut *qu'aucun* courant n'influence l'électro-transmetteur ; car si le butoir est adhérent, la lame fixée à l'arbre sera arrêtée par le talon du butoir (*fig.* 10) ; 2° pour faire passer la manivelle de V à D, il faut qu'un courant influence l'électro-récepteur. Or, c'est seulement lorsque la manivelle est en D que le disque E porté par elle (*fig.* 4) présente son encoche au taquet *t*, et que par suite le levier de manœuvre du bras sémaphorique est déclenché ; c'est donc dans cette seule position de la manivelle qu'on peut effacer ce bras qui, comme nous l'avons dit, est normalement fermé pour toute autre position.

On remarquera que les électro-aimants n'ont pas à mettre leurs armatures en mouvement, ce rôle est rempli par les cames ; celui des électro-aimants se borne à maintenir les armatures attirées quand les cames les abandonnent.

Commutateur. — Le commutateur consiste en un cylindre en bois monté sur l'arbre des manivelles comme les cames du transmetteur et du récepteur. Il est garni de segments métalliques de diverses grandeurs, isolés les uns des autres ; des balais, au nombre de dix, viennent, par leur contact sur ces segments, réaliser les connexions utiles entre les circuits figurés au schéma des courants sous les numéros 1 à 10 (*fig.* 15 et 16). L'ensemble des traits représente le schéma d'un poste intermédiaire ; les

traits pointillés représentent le schéma d'un poste terminus.

Dans un poste intermédiaire B, compris entre les deux postes voisins A et C, les balais désignés sous les nos 1 à 10 pour l'appareil affecté à un sens de marche, 1′ à 10′ pour l'appareil affecté à la circulation en sens inverse, sont en communication avec les circuits suivants (*fig.* 15) :

De A vers C :

1 avec la terre.

2 par l'interrupteur I lame gauche (butoir adhérent), avec l'électro-transmetteur ET, la pile P_1 vers l'aval, la pédale P et la terre.

3 avec la ligne d'aval ou, par l'interrupteur I lame droite (butoir abaissé), à la fois avec la ligne d'aval et avec 4.

4 avec 3, comme on vient de le dire, et avec 9′.

5 avec le Contrôleur.

6 avec 6′ et les sonneries.

7 avec l'indicateur supérieur IS et, par les boutons de sonnerie, avec le fil de ligne de sonnerie.

8 avec 8′ et les sonneries.

9 avec 4′ et, par la lame de droite de l'interrupteur de l'appareil de circulation en sens inverse (butoir adhérent), avec 3′.

10 avec l'électro-récepteur ER et la terre.

De C vers A :

1′ avec la terre.

2′ avec l'interrupteur I′, E′T′ et la pile P′*e* vers l'aval, la pédale P′ et la terre.

3′ avec la ligne d'aval ou, par l'interrupteur I′ (lame droite, butoir abaissé), avec 4′.

4′ avec 3′ et avec 9.

5′ avec le Contrôleur.

6′ avec 6 et les sonneries.

7′ avec l'indicateur supérieur I′S′ et, par le bouton de sonnerie, avec le fil de ligne de sonnerie.

8′ avec 8 et les sonneries.

9′ avec 4 et, par la lame de droite de l'interrupteur de l'appareil de circulation en sens inverse, avec 3.

10′ avec l'électro-récepteur E′R′ et la terre.

Fonctionnement de l'appareil. — Si nous ne considérons pour le moment que le block proprement dit, en faisant abstraction des sonneries et des indicateurs, nous n'aurons à nous occuper que des circuits 1, 2, 3, 4, 9, 10 et 1′, 2′, 3′, 4′, 9′, 10′.

Dans les appareils installés sur le réseau de l'État, les Contrôleurs, et par suite les circuits 5, ont été supprimés. Nous ferons d'ailleurs remarquer que les circuits reliant les deux appareils du même poste ont seulement pour but de permettre, grâce aux commutateurs, de n'avoir qu'un fil de ligne pour la circulation dans les deux sens.

Examinons le fonctionnement de l'appareil. Le schéma (*fig.* 16) nous donne pour les diverses positions de la manivelle les contacts qui sont réalisés par le commutateur.

Supposons les manivelles dans la position normale qui est la position verticale, aussi bien chez le poste B que chez les postes A et C; les piles étant placées sur les circuits 2 et 2′, qui communiquent seulement avec les circuits 1 ou 1′, aucun courant ne passe par l'appareil ni sur la ligne, puisque les circuits 2 et 2′ sont alors coupés par les interrupteurs, les butoirs étant abaissés (*fig.* 5). Les sémaphores sont enclenchés à l'arrêt, puisque, pour les déclencher, il faut amener la manivelle correspondante en D, et que, comme aucun courant ne passe dans les appareils, le crochet qui est libre et pendant s'y oppose (*fig.* 11 et 12). Si un train vient à se présenter au poste C pour venir vers B, ce poste demande à B, par la sonnerie, de le déclencher; B fait alors passer sa manivelle de la position V à la position G; lorsqu'elle arrive à cette position G, le circuit 2 est mis en communication avec 3, et l'interrupteur donne la communication par sa lame gauche; de sorte qu'un courant, partant de la pile P_1 vers C, passe par l'électro-transmetteur ET, l'interrupteur et le fil de ligne vers C.

Voyons l'effet de ce courant lorsqu'il arrive au poste C. Il entre par le circuit 3′ de C ; 3′ communique par l'interrupteur avec 4′ ; 4′ avec 9. Ce courant se trouve ainsi ramené de l'appareil du poste C, affecté aux trains circulant de A vers C, à l'appareil affecté aux trains circulant de C vers A ; 9 communique avec 10 ; or 10 passe par l'électro-récepteur et la terre ; le courant passant ainsi par l'électro-récepteur maintient le crochet adhérent ; dès lors, la manivelle de C peut être amenée à la position D correspondant à la libération du signal. C amène donc sa manivelle à la position D. Mais en D, 9 et 10 ne communiquent plus ; le courant passant par l'électro-récepteur est donc interrompu ; le crochet (*fig.* 12) tombe ; en même temps, puisque le courant est interrompu, le butoir du poste B tombe également ; alors le poste B ramène sa manivelle à la position V, relève le butoir et établit le courant 1-2 ; par suite un courant passe par la pédale du poste B ; ce courant maintiendra le butoir relevé. Le poste B ne pourra plus dès lors, tant que ce courant persistera, ramener de nouveau sa manivelle en G (*fig.* 10) ; or, il ne sera rompu qu'au moment où le train, dont ce poste B a autorisé l'arrivée, viendra passer sur sa pédale. Il sera jusque-là impossible d'envoyer un nouveau déclenchement à C.

Pédale. — La pédale consiste en un levier dont le petit bras est en contact avec le dessous du rail ; ce levier est placé dans une boîte en fonte fixée à un contre-rail ; le petit bras porte une pièce épousant la forme du rail, en vue d'assurer le contact. Le grand bras est en contact avec une vis de réglage, isolée de la masse et communiquant électriquement avec l'appareil, tandis que la masse elle-même, ou boîte électrique, communique avec la terre ; la flexion du rail abaisse le petit bras du levier et rompt le contact à la vis de réglage. Pour faciliter le

déplacement relatif du rail, le contre-rail, établi sur quatre traverses, n'est fixé qu'aux deux extrêmes, de sorte qu'au passage des roues sur les traverses intermédiaires, le contre-rail n'étant pas influencé sensiblement, le déplacement relatif est augmenté (*fig.* 17 et 18).

Sonneries. — Les sonneries sont des sonneries à relais à un seul coup de timbre par contact. Elles sont indépendantes du block, et elles ont un fil de ligne spécial. Chaque appareil porte deux boutons pour l'envoi des sonneries à chacun des deux postes voisins. On a remplacé les sonneries de l'appareil type par des avertisseurs Jousselin permettant l'échange d'un certain nombre de communications conventionnelles que nous indiquerons plus loin.

Indicateurs. — Les indicateurs constituent surtout un renseignement pour le signaleur et une garantie du bon fonctionnement des appareils ; ils sont actionnés par un courant dérivé, et si le courant de la pile s'appauvrissait il perdrait, par suite, en premier lieu, son influence sur ces indicateurs.

Ils sont composés de deux palettes miniatures placées sur la face antérieure de la boîte électrique : l'une d'elles, taillée en oriflamme, indique la position du signal du poste avec lequel on correspond ; l'autre, placée au-dessus, fait connaître à chaque période de manipulation, quelle doit être la position du signal du poste où l'on se trouve. Chaque palette est fixée à un axe horizontal qui porte une pièce de fer doux V, ayant la forme d'un V très ouvert (*fig.* 3) ; un électro-aimant, et un pôle d'un aimant permanent, placé dans le plan même de la pièce de fer doux, du côté opposé à l'électro-aimant, actionnent le système. Les positions extrêmes de la pièce en V sont déterminées par le contact de ses branches avec l'une ou

l'autre bobine de l'électro-aimant correspondant; ces deux positions correspondent, l'une à la position horizontale, l'autre à la position inclinée de la palette indicateur. L'électro-aimant de l'indicateur supérieur est à enroulements distincts sur les deux bobines ; un courant produit dans l'une attire l'armature dont l'aimantation est orientée en conséquence ; un courant dans l'autre produit un effet analogue, suivant les lois régissant les actions des pôles de même nom ou de noms contraires. L'électro-aimant de l'indicateur inférieur est à enroulement simple : c'est le commutateur qui renverse le courant au moment utile.

Dans la position normale des appareils, les indicateurs sont horizontaux. Lorsque le poste reçoit un courant de déclenchement, ce courant passe, en même temps que dans l'électro-récepteur, dans une des bobines de l'indicateur supérieur ; cet indicateur s'abaisse sous l'action de cette bobine, et il est maintenu abaissé par l'aimant permanent, après que le poste a coupé le courant de déclenchement en amenant sa manivelle dans la position D. Mais, lorsque après avoir fermé son signal derrière le train, le poste a replacé sa manivelle dans la position V, et qu'il a annoncé le train à l'aval par la sonnerie, le courant de sonnerie passe dans la seconde bobine de l'indicateur supérieur, qui change de position et se replace horizontalement. Il reste ensuite dans cette position par l'action de l'aimant fixe. On voit que cet indicateur est actionné tantôt par le courant de l'appareil de block, tantôt par le courant de sonnerie. Lorsqu'après s'être placé dans la position D, le poste intermédiaire accuse réception au poste d'aval du déclenchement qu'il en a reçu au moyen de la sonnerie, le courant passe par l'électro-aimant de l'indicateur inférieur du poste d'aval, la sonnerie correspondante, un pôle de la pile de sonnerie, la pile et la terre ; l'effet de l'électro-aimant est d'abaisser l'indicateur inférieur de ce poste ; cet indicateur est maintenu abaissé par son aimant

fixe. Lorsque après avoir refermé son signal et ramené sa manivelle dans la position V, le poste intermédiaire annonce le train à l'aval, le courant de sonnerie va passer à l'indicateur inférieur du poste d'aval ; mais il a changé de sens par l'effet du commutateur; il passe à l'autre pôle de la pile pour aller à la terre, l'aimantation de la bobine est renversée, et l'indicateur redevient horizontal.

On voit que l'indicateur inférieur n'est actionné que par les courants de sonnerie.

Piles. — Les appareils de block proprement dits sont actionnés par des piles Meidinger; les sonneries sont actionnées par des piles Leclanché.

Postes terminus. — Dans un poste terminus, l'appareil correspondant aux trains entrant sur la section de block ne comprend plus que le récepteur, puisqu'il n'a plus qu'à recevoir des déclenchements du poste d'aval, c'est-à-dire vers lequel se dirige le train; de même l'appareil correspondant aux trains sortant de la section de block ne comprend plus que les transmetteurs, puisqu'il n'a plus qu'à envoyer des déclenchements au poste d'amont, c'est-à-dire d'où vient le train. Chacun des deux appareils ne comprend plus qu'une palette indicatrice.

Conditions remplies. — Il résulte de la description qui précède que l'appareil Flamache remplit les conditions suivantes : considérons les trains circulant d'un poste C vers les postes successifs B et A. Comme nous l'avons dit, la voie est normalement fermée. Un train ayant franchi le poste B, ce poste ne peut autoriser l'envoi d'un train suivant venant du poste voisin C sans se bloquer lui-même, c'est-à-dire sans couvrir le premier train, puisque, pour envoyer un courant de déclenchement, il doit pouvoir amener sa manivelle à la position G, ce qui nécessite la fermeture du bras sémaphorique.

Le bras sémaphorique du poste C est maintenu à l'arrêt tant que la section CB est occupée; car pour effacer ce bras, il faudrait pouvoir recevoir du poste d'aval B un nouveau déclenchement; or, par suite du courant établi dans l'électro-transmetteur du poste B par l'intermédiaire de sa pédale relative aux trains de sens CB, ce poste ne peut envoyer un nouveau déclenchement à C avant le passage du train sur cette pédale, passage qui rompt le courant; le butoir empêche en effet jusqu'à ce moment le mouvement de la manivelle de V à G.

Le poste C ne peut utiliser le même courant de déclenchement pour recevoir deux trains successivement; après avoir reçu un train se dirigeant vers B, s'il vient à se présenter un nouveau train de même sens, il a dû autoriser son entrée sur la section DC, en envoyant un déclenchement à D; or, il ne peut le faire qu'en amenant sa manivelle à la position G; par suite il a dû se bloquer. Dès lors, il ne pourra laisser passer ce second train qu'en demandant à B un nouveau déclenchement.

Enfin, il est impossible d'envoyer un déclenchement avant que le train qui occupe la section ait passé sur la pédale de sortie et, par suite, que la section soit libre. D'ailleurs, si l'électricité vient à faire défaut, les récepteurs restent maintenus à l'arrêt.

Application du système sur les sections de Loudun à Arçay et de Beillant à Pons. — On a placé les bras sémaphoriques uniques des gares terminus à leur sortie, côté de la section; les bras sémaphoriques des postes de gare intermédiaire ont été placés sur des mâts différents, à chacune des extrémités de la gare, de manière qu'ils ne soient pas dépassés par les trains auxquels ils s'adressent et qui ont un arrêt dans la gare.

Dans les postes de pleine voie, les deux bras sont, bien entendu, montés sur le même mât.

On a supprimé les sonneries ordinaires des appareils pour les remplacer par des avertisseurs Jousselin, à sonnerie. Ces avertisseurs permettent d'échanger les communications conventionnelles suivantes :

1. Attention; 2. Parlez; 3. Déclenchement demandé; 4. Déclenchement envoyé; 5. Déclenchement reçu; 6. Train annoncé; 7. Section occupée; 8. Essai; 9. Va mal; 10. Section bloquée; 11. Va bien; 12. Erreur.

Les appareils fonctionnent d'une manière tout à fait satisfaisante; on ne constate guère d'irrégularités qu'en ce qui concerne les indicateurs, qui perdent d'ailleurs la plus grande partie de leur utilité par suite de l'emploi des avertisseurs Jousselin.

Le fonctionnement de la pédale est nécessairement assez délicat, bien qu'elle fonctionne comme pédale de rupture et non comme pédale de contact; la flexion du rail est toujours très faible, et il est, par suite, nécessaire d'avoir un réglage assez précis; ce réglage ne se maintient pas par suite du déplacement des traverses et des contre-rails lors du passage des trains; il serait facile, s'il en était besoin, de remédier à ces inconvénients en utilisant pour la rupture du courant, non pas la flexion du rail, mais celle d'une pièce semblable au contre-rail Baillehache, qui pourrait être d'une amplitude beaucoup plus grande; cette pièce pourrait alors être portée par les mêmes traverses que le rail, et on serait sûr d'obtenir pour le déplacement relatif par rapport au rail une amplitude suffisante.

La manœuvre des appareils est assez simple et les agents s'y habituent assez rapidement; il ne peut guère d'ailleurs se produire que l'erreur suivante :

Si un poste B, après avoir envoyé un déclenchement à C, remet sa manivelle dans la position V, avant que C ait utilisé ce déclenchement en mettant sa manivelle dans la position D, B s'étant bloqué lui-même en envoyant

son courant de pédale, ne peut plus débloquer C; dès lors, le train pour lequel C demandait le déclenchement doit pénétrer sur la section bloquée CB comme en cas de dérangement des appareils.

En résumé, l'appareil Flamache paraît réaliser toutes les conditions formulées par la circulaire ministérielle du 12 janvier 1882; il est simple et il fonctionne bien.

Nous ajouterons qu'il se prête avec une facilité relative à la solution du problème du cantonnement dans divers cas particuliers, voie unique, bifurcations.

L'INDUSTRIE DU PÉTROLE

AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Par M. RICHE,

Membre de l'Académie de médecine, Directeur du laboratoire des expertises au ministère du commerce et de l'industrie,

et M. ROUME,

Directeur du commerce extérieur au ministère du commerce et de l'industrie.

CHAPITRE I.

GISEMENTS DE PÉTROLE AUX ÉTATS-UNIS. — NATURE DES HUILES EXTRAITES. — PRODUCTION. — EXPORTATION. — PRIX.

Au cours d'une mission aux États-Unis dont nous avons été chargés en 1892, par M. le Ministre du commerce et de l'industrie, nous avons pu recueillir des données nouvelles, ou non encore publiées en France, sur l'industrie et le commerce du pétrole qui ont pris depuis quelques années un si grand développement en Amérique. Nous nous proposons de présenter dans ce travail ceux de ces renseignements qui concernent spécialement : 1° les gisements, la nature et la production des huiles minérales ; 2° les procédés de raffinage actuellement employés aux États-Unis ; 3° les applications industrielles du pétrole et de ses produits, autres que l'éclairage et le graissage.

Gisements de pétrole aux États-Unis. Nature des huiles

extraites. — La Pensylvanie est la région des États-Unis où a été foré le premier puits industriel à pétrole, en 1859, et depuis cette époque elle est toujours restée de beaucoup à la tête de la production. Jusqu'en 1875, on n'a exploité le pétrole que dans cet État et dans celui de New-York, et la quantité extraite dans ce dernier est assez faible pour que les statistiques américaines la réunissent à celle de la Pensylvanie.

Depuis 1875, les États de l'Ohio, de la Virginie de l'Ouest, de la Californie et du Colorado fournissent un appoint considérable ; quelques autres États ont commencé à exploiter des sources de pétrole dans ces dernières années.

On peut considérer comme des branches d'un même gisement les terrains à pétrole qui, partant du nord-est, dans l'État de New-York, traversent la Pensylvanie vers la direction du sud-ouest pour aboutir à la Virginie de l'Ouest et à l'Ohio.

Dans la Pensylvanie, l'État de New-York, la Virginie-Ouest et l'Ohio, on rencontre le pétrole au milieu de bandes de terrains variés qui s'allongent parallèlement à la chaîne des Alleghany et principalement dans une dépression faisant suite à celle dans laquelle entre le Saint-Laurent.

La bande pensylvanienne proprement dite a une largeur moyenne de 50 kilomètres ; comme toutes les couches plongent légèrement vers le sud, le pétrole se rencontre dans des terrains de plus en plus anciens à mesure qu'on remonte vers le nord. Il s'accumule dans tous les horizons sableux et gréseux perméables, séparés par des schistes et des roches compacts stériles.

Les horizons pétrolifères du terrain houiller (comté de Green, sud et nord de Pittsburg) se sont montrés moins abondants que ceux du dévonien (Venango, Warren).

Ces derniers groupes ont été recoupés par des sondages à Pittsburg même, à des profondeurs respectives moyennes de 560, 700 et 840 mètres.

La prolongation dans le Canada des gisements pensylvaniens imprègne des terrains encore plus anciens, à la base du silurien.

En Californie, le pétrole sort de couches pliocènes, au pied des chaînons plissés de la Sierra Neveda et parallèlement à leur direction.

Au Colorado sur le flanc oriental des montagnes Rocheuses, le principal niveau pétrolifère est crétacé (*). En résumé, le pétrole se trouve à tous les niveaux géologiques, ses gisements s'alignent, en général, parallèlement aux chaînes de montagnes, à leur pied et dans la région extérieure aux plissements : l'imprégnation se fait dans les niveaux perméables, postérieurement aux plus jeunes de ces niveaux.

C'est dans l'État de New-York que le professeur Silliman a, dès 1833, signalé une source de pétrole, laquelle n'a pas donné naissance à une exploitation (Pl. II).

En 1860, de nombreux sondages indiquèrent l'existence de gaz naturel et de pétrole liquide dans diverses régions de l'État de New-York, et notamment sur les bords du lac Érié, dont une partie appartient à la Pensylvanie.

Le gaz est utilisé sur plusieurs points, mais l'industrie du pétrole n'a subsisté que vers le sud de l'Alleghany, dans la région de Richburgh.

La production de l'huile dans cette région, peu abondante en 1889 (540.000 barils (**), a doublé depuis cette époque ; elle a été de 1.121.574 barils en 1891. Cette

(*) Nous renvoyons les lecteurs, pour des renseignements détaillés sur la géologie du pétrole, au *Pennsylvania geological Survey*, 2e Partie, 1886, et au *Traité des gîtes minéraux et métallifères* de MM. Fuchs et de Launay. Baudry et Ce, Paris, 1893.

(**) Le baril est ordinairement de 145 kilogrammes.

huile est envoyée, pour la plus grande part, à l'usine de Bayonne, que la Compagnie « Standard Oil Company » possède auprès de New-York. Ce transport est effectué dans des tuyaux en fonte (pipe-lines) sur lesquels on donnera plus loin quelques détails.

A 8 ou 10 milles vers l'ouest, dans l'État de New-York, commence le bassin de Bradford, qui s'étend surtout dans la Pensylvanie. Pendant de longues années, il a été le plus producteur de tous les gisements ; il décroît depuis dix ans, néanmoins il tient encore une des premières places.

En 1889, il a fourni 7.158.363 barils sur la production totale, qui était de 21.486.403 barils.

En 1891, il a fourni 5.452.418 barils sur la production totale, qui a été de 35.733.152 barils.

Il y a lieu de faire remarquer que ces chiffres sont certainement supérieurs à la production réelle ; une partie provient des stocks accumulés dans la région de Bradford, dont on parlera plus loin.

D'après des renseignements fournis par certains négociants en pétrole, la densité de cette huile, qui était voisine de 0,800 à l'origine, se serait élevée successivement jusqu'à 0,825.

Cette opinion est fort exagérée. L'huile de Bradford dépasse rarement la densité de 0,815, et l'on trouve aujourd'hui des puits dont le pétrole s'écoule à la densité de 0,803, ou même de 0,800 et 0,797. Si sa densité a augmenté, ce qui paraît certain dans une mesure plus restreinte qu'on ne l'a publié, il faut l'attribuer à plusieurs causes. Ce gisement a, de tout temps, fourni des huiles relativement lourdes à côté des huiles légères, dans les régions de Smethport et de Bolivar notamment. A l'époque où l'huile de Bradford était expédiée en Europe faute de sortes plus rémunératrices, on isolait, pour cette destination, les produits les plus légers.

Aujourd'hui, les raffineurs européens, trouvant dans les contrées de Parker, de Washington, de Macdonald, des pétroles beaucoup plus riches en essences et en huiles lampantes, on n'a plus d'intérêt à trier pour eux les espèces légères de Bradford et on les réunit aux autres, ce qui élève la densité moyenne des produits bruts d'exportation.

D'autre part, et c'est un fait général, ce sont les puits à huiles de faible densité qui se sont épuisés plus rapidement que les autres. Il est d'observation incontestable aussi que si un puits, d'un débit d'abord considérable, n'a plus qu'un faible écoulement, l'essence s'évapore et la densité du produit s'élève peu à peu. Il faut un temps très court au début pour compléter une expédition ; ce temps s'accroît peu à peu, pour devenir souvent très long, et alors l'évaporation augmente au prorata de la diminution du débit.

Enfin, il existe à Bradford, depuis que la production s'accroît dans les régions dont on va parler, un stock considérable d'huiles qui restent des mois, des années, dans d'immenses réservoirs où elles perdent tout le gaz dissous et les produits essentiels les plus volatils. Les huiles, même non jaillissantes, contiennent des gaz qui s'échappent rapidement ; mais il y reste toujours des produits très légers qui ne disparaissent qu'à la longue, pendant le séjour dans les réservoirs, par les transvasements et les frottements dans les pipe-lines.

Nous avons vérifié plusieurs fois ce départ des gaz, et voici deux résultats obtenus :

Huile de Zelienople.	Densité à l'orifice du puits. . .	0,769
	Densité après une demi-heure.	0,771
Huile de Glade-Run.	Densité à l'orifice du puits. . .	0,778
	Densité après une heure. . . .	0,783

Récemment, la Compagnie du Standard a mis en com-

munication les pipe-lines de Bradford qui conduisent les huiles à New-York, en passant par le gisement de l'Allegheny, avec les pipe-lines de Washington, de Macdonald qui dirigent les huiles sur Philadelphie, parce que les derniers étaient insuffisants depuis l'énorme production de ces nouvelles régions. L'encombrement est assurément la cause principale de cette jonction; mais il y a lieu de penser que la « Standard Company » a réalisé aussi cette combinaison en vue de diminuer la densité des huiles de Bradford, et, par suite, de les enrichir en produits « lampants ».

Du témoignage de M. Young, directeur de la « Standard Company » à Pittsburg, il résulte d'ailleurs qu'en fait l'huile des puits de Bradford n'a pas augmenté de densité dans la proportion qu'on admet généralement, et que l'accroissement existant, beaucoup plus limité dans sa proportion, se retrouve dans les autres gisements et s'explique par les raisons qui viennent d'être énumérées.

Bradford est un des centres principaux de l'industrie du pétrole. La « Tide Water » et d'autres compagnies y ont des approvisionnements considérables, des raffineries, et ce gisement est le point de départ de divers pipe-lines pour New-York, Milton, Pittsburg, Buffalo, Boston, etc., appartenant à plusieurs compagnies.

Les puits ont 1.500 à 2.000 pieds de profondeur dans cette région.

A 20 milles vers l'ouest commencent les territoires réunis sous le nom général de « Middle Country ». Au nord sont les gisements très riches autrefois de Warren, Clarendon, Stoneham, Tiona. Le débit a diminué; néanmoins il est encore très important, et on trouve des huiles de Warren, de Stoneham, assez légères pour qu'on ait intérêt à les expédier quelquefois à l'état brut en Europe. L'huile de Tiona, peu abondante d'ailleurs, est claire et

légère; on a pu se servir directement pour l'éclairage de certaines sortes.

En général, l'huile de cette région est ambrée, de 0,786 à 0,795 comme densité.

Les puits n'ont que 800 à 1.000 pieds.

Certains d'entre eux fournissent de l'huile lourde utilisée directement au graissage.

Au sud de cette région existaient, sur les bords de l'Allegheny, des puits, épuisés aujourd'hui, où l'huile se rencontrait à 120 ou 150 pieds.

En allant vers l'ouest, on trouve la région de Crawford, dans la partie sud de laquelle sont Titusville et Church-Run, qui ont fourni des quantités abondantes de pétrole depuis le forage du puits Drake jusque vers 1884.

Sa densité est voisine de 0,800 à 0,805.

Au sud des précédents se trouvent les gisements qui bordent la vallée célèbre d'Oil-Creek où le pétrole a été découvert pour la première fois; elle est percée tout entière de sondages à peu près abandonnés aujourd'hui, car la production n'est guère que de 800.000 barils par an.

Le puits Drake n'avait que 69 pieds et demi de profondeur à l'origine et il ne pénétrait que dans les premières couches où l'on trouve l'huile. On l'a creusé plus profondément à deux reprises et on a rencontré (suivant l'expression usitée dans le pays) deux nouveaux sables à pétrole, qui ont fourni de forts rendements. Aujourd'hui le puits Drake, sans être absolument épuisé, n'est plus qu'une curiosité historique.

Au sud de la contrée de Crawford est celle de Venango, qui est restée, jusqu'à 1884, un gisement très abondant. C'est dans cette région que la rivière d'Oil-Creek vient rejoindre l'Allegheny à Oil-City, qui est encore un lieu de marché pour les huiles. Dans le comté de Venango, on trouve aussi des sources de pétrole très différentes. La plupart fournissent des huiles ordinaires, mais certaines

donnent des huiles lourdes ; celles-ci sont produites par les puits du territoire situé à l'angle formé par le French-Creek et l'Allegheny.

Leur densité atteint fréquemment 0,815, 0,820 et même davantage. L'une d'elles, donnée par les puits de Franklin, est beaucoup plus dense et elle est exploitée depuis de longues années, sans que le débit subisse une réduction sensible. Sa densité est de 0,885 à 0,898.

On l'emploie souvent sans travail préalable, car elle n'est pas souillée de matières étrangères et ne se solidifie pas à 30° C. au-dessous de zéro.

La première qualité de cette huile atteint 20 francs le baril, tandis que les huiles d'éclairage des puits de la même région ont une valeur beaucoup moindre.

La Compagnie du Standard a établi près de Franklin une usine considérable parfaitement outillée, où l'on produit des variétés très diverses d'huiles de graissage par l'utilisation de ces huiles lourdes naturelles et des huiles lourdes artificielles qui restent après l'extraction des essences et des huiles lampantes des sortes ordinaires de pétrole.

Les puits donnant les huiles lourdes sont peu profonds.

Dans le Forest County, à l'est des précédents et au sud de Warren, étaient et sont encore de nombreux gisements de petite production : West-Hickory, Balltown, Foxburgh. Ces huiles sont voisines de 0,800, et on les exporte encore en France, quoique en petite proportion.

Il existe, en se portant vers le sud, une longue bande de terrains pétrolifères dirigée du nord-est au sud-ouest, située dans les districts de Clarion, de Butler et d'Armstrong.

Les puits ont de 900 à 1.300 pieds de profondeur, qui croît à mesure qu'on s'approche du sud-ouest.

Cette région de faible largeur est celle qui a fourni, de 1865 à 1877, une forte partie de la production pensylvanienne. Une ville importante, Pétrolia, s'est formée dans la province d'Armstrong, et le gaz naturel était assez abondant pour qu'on l'utilisât à la fabrication de l'acier à Leechburg.

Parker se trouve vers le milieu de cette bande de terrains, et, comme il s'y est établi une bourse importante, centre du marché de la région, on désigne souvent ces pétroles sous le nom de *Parker Oil.*

Parker est aussi le lieu d'embranchements des pipelines de Pittsburg à Cleveland, Bradford, New-York, etc.

L'huile provient de couches de sables différents; troisième, quatrième couches, sable dit de 100 pieds.

Sa densité descend quelquefois à 0,786 ; le plus souvent elle est un peu supérieure à 0,800 parce qu'elle est pauvre en essence ; mais, comme elle est très peu chargée de produits lourds et, par suite, riche en huile lampante, elle est recherchée pour l'exploitation en France et en Espagne.

On affirme que certaines de ces huiles ne fournissent pas du tout d'essence, quoique leur densité ne dépasse pas 0,803.

L'huile de Foxburg, qui arrive fréquemment dans nos pays, est de cette région et non pas du Forest County, où l'on a signalé plus haut un gisement du même nom.

Il existe dans le territoire d'Armstrong quelques puits, de débit très faible, qui sont remarquables par ce fait que l'huile est à peine colorée et qu'elle n'a que 0,780 de densité à l'état naturel. C'est de l'huile brute, que sa pureté et sa nature font ressembler à l'huile lampante marchande, et on la consomme directement dans le pays, sans épuration préalable. Son débit est trop faible pour qu'on ait pu introduire des quantités notables de ce produit en France. Néanmoins, il n'est pas impossible qu'on rencontre des puits donnant en abondance de pareilles huiles et alors les raffineurs des pays européens obtien-

draient des rendements encore supérieurs à celui des huiles ordinaires.

A l'ouest du grand gisement de Parker, on a découvert, aux environs de Smith's-Ferry, sur la rive nord de l'Ohio, une huile de couleur faiblement ambrée, dont la densité est de 0,778, et qui peut brûler d'une façon convenable dans les lampes. On s'en sert, à cause de sa faible coloration et de son peu de volatilité, pour le traitement des laines; en raison de cet usage et de son débit minime (30.000 fûts par an), on ne l'exporte pas en Europe.

A l'ouest des gisements les plus méridionaux dont on vient de parler, dans Butler Country, il existe une région à pétrole léger, dont les principaux centres étaient Baldridge et Wildwood, et qui est sillonnée par plusieurs lignes de chemins de fer.

En 1888, Baldridge et Wildwood, très florissants, avaient produit 1.220.054 barils.

Dans ce dernier pays, on a foré 227 puits; 27 d'entre eux ont eu, pendant les premiers temps, un débit d'une abondance extrême; 51 n'ont rien produit. A l'époque actuelle, 3 ou 4 seulement ont subsisté et sont d'un rendement médiocre.

On voit ici un exemple de ce qui a été dit plus haut, à savoir que le débit des puits à huile légère est d'abord très considérable, mais qu'il a souvent peu de durée; le contraire a lieu pour les puits à huiles moins volatiles, comme ceux de Bradford.

Depuis 1888, dans la même contrée, on a foré à Zelienople, Glad-Run, Harmony, Evans City, de nombreux puits que nous avons trouvés en pleine prospérité.

Leur débit journalier était, en février 1892, de 6.000 à 7.000 barils par jour.

Nous avons trouvé pour densité :

Huile	de Zelienople	0,772
	de Glad-Run	0,783
	d'Harmony	0,771
	d'Evans City	0,790

L'exploitation de ces puits est coûteuse, parce que l'huile est mélangée d'eau salée. Elle provient du quatrième sable et du sable de 100 pieds.

Les puits ont 1.200 à 1.600 pieds.

Ces dernières régions sont connues sous le nom de *Lower Country*.

La contrée de Pittsburg n'est pas productive; cependant il existe aux environs de Tarente des puits qui ont alimenté la première raffinerie fondée à Pittsburg.

Si l'on continue à se diriger vers le sud, on rencontre le Westmoreland, où sont exploités quelques puits à huiles lourdes, et surtout le territoire de Washington.

Les premiers puits forés dans cette dernière contrée, vers 1884, ont été d'un rendement faible; ceux qu'on a creusés en 1886 et depuis cette époque fournissent, au contraire, des rendements très considérables.

		Barils.
L'huile extraite	en 1888 représente	2.859.344
	en 1888	2.322.189
	en 1889	3.848.145
	en 1891	2.997.278

Washington et Tailorstown sont les deux principaux centres.

L'année 1891 est, avec l'année 1859, celle où a eu lieu la plus forte production, ce qui est dû à la découverte du plus puissant gisement qu'on connaisse, Macdonald, dans le territoire de Washington, à une heure de Pittsburg en chemin de fer.

Il a fourni, dans les trois derniers mois de 1891, environ 5 millions de barils, soit 27.700 par jour, lesquels

ajoutés à la production antérieure, représentent dans l'année plus de 6 millions de barils.

L'huile est très légère, 0,777 à 0,790; 270 puits ont été forés, 1 million et demi de dollars dépensés; la production semble avoir atteint son maximum à Macdonald et à Mac-Curdy qui est voisin.

En continuant vers le sud, on sort de l'État de Pensylvanie pour entrer dans celui de la Virginie de l'Ouest, où se poursuivent les gisements dont le point de départ est dans l'État de New-York.

On les exploite industriellement depuis 1875. Le débit était de 358.269 barils en 1889; il a atteint 2.404.218 barils en 1891.

Les puits sont, en très grande partie, entre les mains de la « Standard Company », qui attend, pour engager de plus grands travaux, qu'une baisse sensible se produise dans les régions de Washington et de Macdonald. Ils paraissent destinés à un grand avenir.

L'huile est légère, de bonne nature.

Si, quittant la direction du sud, où le pétrole n'est plus exploité, on se dirige vers l'ouest, dans l'État de l'Ohio, on rencontre de petits gisements qui bordent ceux de Pensylvanie. Les principaux sont : Mecca, Belden, Washington et Macksburg.

La production est faible, car la plus abondante, celle de Macksburg, représentait :

En 1889	831.000 barils.
En 1891	400.000 —

Les puits de Mecca, de Volcano fournissent de l'huile très lourde : 0,880 à 0,900 de densité; les puits voisins de ceux de Smith's-Ferry donnent une huile qui ressemble à cette dernière.

En 1875, on a trouvé dans l'Ohio, loin des immenses gisements que nous venons de grouper, un gisement différent par sa situation et par sa nature, qui est connu sous le nom de *Lima*, tiré de celui de la ville autour de laquelle il a été trouvé.

Exploité depuis 1875, il ne donne des rendements industriels que depuis 1885.

La production a été :

En 1888	10.010.868 barils.
En 1889	12.741.466 —
En 1890, au moins	15.000.000 —
En 1891, environ	14.500.000 —

L'abondance de cette huile est extrême, et si son exploitation a été faible jusqu'en 1888, il faut l'attribuer à la difficulté de son traitement.

Elle est vert foncé, quelquefois de faible densité : 0,786, souvent de densité plus forte : 0,835 à 0,850. Elle exhale une odeur désagréable, qui est celle des composés sulfurés organiques dilués.

Jusqu'aux années dernières, on ne pouvait en extraire de l'essence et de l'huile lampante, parce que ces produits conservaient leur odeur et qu'en brûlant ils dégageaient de l'acide sulfureux, charbonnaient les mèches et noircissaient les verres.

A la suite de longues recherches, la « Standard Company » est arrivée à extraire des huiles de Lima des produits inodores et de bonne combustion. Elle a créé d'abord à Lima une première usine d'essai et de traitement; puis, assurée du succès, elle a établi depuis quatre ans à Whiting, à quelques milles de Chicago, une magnifique et immense raffinerie dont on parlera plus loin, dans laquelle l'huile brute arrive de Lima par pipe-lines.

En dehors de ces deux gisements dont la production est si considérable, il en existe plusieurs autres aux États-Unis. Nous les diviserons en deux classes : ceux de Californie et du Colorado, qui sont l'objet d'une exploitation

régulière d'une certaine importance, et une foule d'autres, dont les principaux sont dans le Kentucky, le Tennessee, le Missouri, le Texas, etc., qui ne comptent pas sur les marchés.

Le pétrole de Californie est exploité depuis 1875.

Le débit a été :

1888	690.000 barils.
1889	303.000 —
1891	350.000 —

Ces huiles sont encore très peu connues. Il nous en a été remis une dont la densité est 0,835. Elle est brun-foncé, opaque, dénuée de fluorescence, d'odeur peu agréable, moins forte que celle de Lima.

L'huile du Colorado n'est connue industriellement que depuis 1889. La production a été :

1889	316.476 barils.
1891	325.000 —

Production et exportation de l'huile brute. — On évalue à 60.000 au moins la quantité des puits forés depuis l'année 1859 dans les États de New-York et de Pensylvanie.

Voici le nombre de ceux qui ont été percés, année par année, depuis 1876 :

1876	2.920
1877	3.939
1878	3.064
1879	3.048
1880	4.217
1881	3.380
1882	3.304
1883	2.847
1884	2.247
1885	2.761
1886	3.482

1887	1.644
1888	1.515
1889	5.489
1890	6.358
1891	3.390

1.069 puits ont été épuisés en 1890, 664 en 1891.

Ces puits appartiennent à un très grand nombre de propriétaires; ils livrent les huiles pour une faible partie aux raffineries voisines et aux lignes de chemins de fer qui sillonnent les territoires oléifères, et pour la majeure partie à des compagnies qui les transportent aux grandes raffineries et aux ports d'embarquement d'Europe par des pipes-lines dont la longueur totale dépasse 8.000 milles de 1.609 mètres, soit 12.872 kilomètres. La ligne la plus longue, celle de New-York, est de 444 milles, ou 714 kilomètres.

La « Standard Oil Company » possède la presque totalité de ces canaux soit par elle-même, soit par des sociétés affiliées, et elle a successivement annexé toutes les compagnies qui se sont constituées aux diverses époques pour établir des pipe-lines sur New-York et Philadelphie, etc., ou bien elle a établi avec elles certains accords, notamment avec la « Tide Water Company ».

La maison « Mellon and Company » de Pittsburg, propriétaire d'un grand nombre de puits à Washington et à Mac-Donald surtout, établit en ce moment, et en dehors jusqu'à présent de la « Standard Oil Company », un pipe-line de ces régions à Philadelphie.

Le nombre des puits forés dans le territoire de Lima (Ohio) était de 1.695 au 1er janvier 1890.

Depuis trois ans, l'emploi des huiles de pétrole pour le chauffage, de celle de Lima surtout, prend une énorme extension.

La consommation était :

En 1889.	5.000.000 barils environ.
En 1890.	7.000.000 —
En 1891.	10.600.000 —

Production du pétrole brut aux États-Unis et au Canada, de 1859 à 1888.

ANNÉES	PENSYLVANIE et NEW-YORK	OUEST-VIRGINIE	OHIO	KENTUCKY, TENNESSEE et autres états	CALIFORNIE	TOTAL des États-Unis	CANADA
	barils.	barils.	barils.	barils.	barils.	barils.	barils.
1859	2.000	»	»	»	»	2.000	»
1860	500.000	»	»	»	»	50.000	»
1861	2.113.609	»	»	»	»	2.113.609	»
1862	3.056.690	»	»	»	»	3.056 690	11.775
1863	2.611.309	»	»	»	»	2.611.309	82.814
1864	2.116.109	»	»	»	»	2 116.109	90.000
1865	2.497.700	»	»	»	»	2.497 700	110.000
1866	3 597.700	»	»	»	»	3.597.700	175.000
1867	3.347.300	»	»	»	»	3.347.300	190.000
1868	3.646.117	»	»	»	»	3.646.117	200.000
1869	4.215.000	»	»	»	»	4.215 000	220.000
1870	5.260.745	»	»	»	»	5.260.745	250.000
1871	5.205.234	»	»	»	»	5.205.234	269.397
1872	6.293.194	»	»	»	»	6.293.194	308.100
1873	9.893.786	»	»	»	»	9.893 786	365.052
1874	10.926.945	»	»	»	»	10.926.945	108.807
1875	8.787.514	3.000.000	200.000	»	175.000	12.162.514	220.000
1876	8.968.906	120.000	31.763	»	12 000	9.132.669	312.000
1877	13.135.475	172 000	29.888	»	13.000	13.350.363	312.000
1878	15.163.462	180 000	38.179	»	15.000	15.396.868	575.000
1879	19.685.476	180.000	29.112	»	19.000	19.914.146	575.000
1880	26.027.631	179.000	38.940	»	40.000	26 286.123	350.000
1881	27.376.509	151.000	33.867	»	99 000	27.661.238	275.000
1882	30.053.500	128.000	39.761	»	128.636	30.349.897	275.000
1883	23.128.389	126.000	47.632	»	142.857	23.444 878	250.000
1884	23.772.209	90 000	90.081	»	262.000	24.214.290	250.000
1885	20.776 041	91.000	650.000	»	325.000	21.842.041	250.000
1886	25.798.000	102.000	1.782.970	225.000	377.145	28.285.115	250.000
1887	22.356.193	145.000	5.018.015	51 817	678.572	28.249.597	868.315
1888	16.484.668	119.448	10.010.868	310.612	690.333	27.615.929	772.392
Totaux.	346.797.111	4.783.448	18.041.076	587.429	2.980.042	373 189.106	7.712.682

Production du pétrole aux États-Unis en 1889, 1890 et 1891.

ANNÉES	PENSYLVANIE et NEW-YORK	OUEST-VIRGINIE	OHIO	CALIFORNIE	COLORADO	ÉTATS-UNIS (autres contrées)	TOTAL
	barils.	barils.	barils.	barils.	barils.	barils.	barils.
1889	21.478.435	358.269	12.741.466	303.220	316.476	»	35.163.513
1890	29.000.000	»	15.000.000	»	»	»	46.000.000
1891	34.000.000	»	14.500.000	350.000	325.000	»	50.150.000

L'accroissement de la production est donc énorme depuis trois ans.

Cette augmentation est due surtout au pétrole de Lima et à la découverte des champs pétrolifères de Washington et de Mac-Donald.

La quantité de pétrole brut extrait depuis 1859 est de 515.502.619 barils, dans lesquels la Pensylvanie et New-York entrent pour 431.884.546 barils.

Il a été expédié en France, pendant l'année 1890, d'après le consul de France à Philadelphie, en huile brute et raffinée :

	Huile brute. gallons.	Huile raffinée. gallons.
De New-York.	29.747.650	2.504.028
De Philadelphie	36.588.100	1.308.430
Total.	66.335.750	3.812.458

Le tableau suivant donne, par pays, les quantités d'huile brute exportées :

Exportation de l'huile brute des États-Unis pendant l'année 1891 (barils de 51 gallons).

PAYS D'EXPORTATION	STANDARD Cº	AUTRES EXPORTATEURS	TOTAL
	barils.	barils.	barils.
Suède	2.000	»	2.000
Allemagne.	60.871	26.359	87.230
Grande-Bretagne.	764	»	764
France.	670.142	595.606	1.265.748
Espagne	201.785	144.807	346.592
Italie.	1.961	»	1.961
Autriche.	»	49.569	49.569
Australie.	»	10	10
Mexique.	27.357	32.710	60.067
Cuba.	82.601	28.389	110.990
Indes occidentales.	12.291	»	12.291
Amérique du Sud	84	119	203
Total.	1.059.856	877.569	1.937.428

Le *Census Bulletin* résume comme il suit les exportations du pétrole, en gallons et dollars (*) :

(*) Le bureau de statistique au ministère des finances fixe

ANNÉES	HUILE brute	NAPHTE	HUILE d'éclairage	HUILE de graissage	RÉSIDU	TOTAL	VALEUR
1888	77.387.796	13.466 234	451.961.143	24.280.826	1.863.104	568.960.103	47.469.315
1889	83.991.196	13.958.680	548.395.731	27.754.239	1.838.694	675.938 540	52.793 241
1890	95.365.765	12.406.586	547.542.569	31.886.143	1.828.900	689.029.966	51.656.677

Le pétrole se vend en Amérique au gallon américain.

On convertit le poids en livres et en kilogrammes sur la base suivante :

1 Gallon vaut 6 livres et demie anglaises ;

112 Livres anglaises valent 50 kilogrammes.

Le gallon équivaut à $2^{kg},900$, le raffiné s'achète sur cette base.

Quant au pétrole brut, on calcule le gallon sur $2^{kg},800$, soit une bonification de près de 4 p. 100 en faveur des acheteurs de brut. Les raffineurs étrangers à l'Amérique ont obtenu cette concession comme une compensation du coulage en cours de route.

La consommation de pétrole raffiné aux États-Unis s'est élevée, en 1891, à 22.600.000 barils (évalués en huile brute).

L'exportation totale du pétrole s'est élevée, pour la même année, à 750.520.577 gallons (1er juin 1890 à 1er juin 1891), soit 14.700.000 barils.

---

de son côté comme il suit l'exportation des produits du pétrole et leur valeur (du 1er juin 1890 au 1er juin 1891) :

	Gallons.	Valeurs en dollars.
Huiles brutes	99.905.663	5.747.053
Naphtes	12.113.999	986.817
Huiles d'éclairage raffinées	567.523.573	39.715.292
Huiles lubrifiantes	33.281.551	4.791.267
Résidus	1.562.746	73.025
Totaux	704.387.532	51.313.454

Prix, à New-York, en cents et par gallon, des huiles brutes et raffinées, de l'essence en barils.

ANNÉE 1891	RAFFINÉ « Standard » en barils	MOYENNE	HUILE brute	MOYENNE	ESSENCE en barils	MOYENNE
Janvier	7,45 à 7,40	7,41	7,05 à 7,10	7,07	7,00 à 7,20	7,13
Février	7,50 à 7,45	7,48	7,10 à . . .	7,10	7,00 à . . .	7,00
Mars	7,50 à 7,20	7,32	6,95 à 7,10	7,20	6,75 à 7,00	6,87 1/2
Avril	7,20 à 7,15	7,18	6,70 à 6,95	6,82 1/2	6,25 à 6,75	6,39
Mai	7,20 à 7,15	7,19	6,60 à 6,75	6,70	6,25 à . . .	6,25
Juin	7,20 à 7,05	7,13	6,50 à 6,60	6,58	6,50 à 6,60	6,00
Juillet	7,05 à 6,85	7,02	6,00 à 6,40	6,25	5,75 à 6,00	5,95
Août	6,85 à 6,55	6,71	5,65 à 6,00	5,83	5,65 à 6,00	5,75
Septembre	6,55 à 6,30	6,41	5,50 à 6,65	5,55	5,75 à . . .	5,75
Octobre	6,50 à 6,40	6,43	5,55 à 5,65	5,60	5,75 à . . .	7,75
Novembre	6,45 à 6,35	6,39	5,50 à 5,70	5,55	5,50 à 5,75	5,70
Décembre	6,45 à 6,40	6,44	5,70 à . . .	5,70	5,50 à . . .	5,50
		6,83	. . . . .	6,32	. . . . .	6,17

Le prix de 6 cents 32, qui s'applique au pétrole brut en 1891, représente 11 francs les 100 kilogrammes (fût compris).

CHAPITRE II.

RAFFINAGE DU PÉTROLE AUX ÉTATS-UNIS. — RENDEMENTS. — PRODUITS MARCHANDS.

Le raffinage du pétrole s'est opéré d'une façon grossière aux États-Unis dans les premières années et il reste encore aujourd'hui des exploitations peu perfectionnées dans les petits centres de production parce que, la matière première étant à vil prix, on ne se préoccupe pas d'en économiser quelques centièmes. Il n'en est pas de même dans la majeure partie des usines depuis que la « Standard Oil Company » a réuni dans ses mains ou dans celles de ses affiliés les 85 centièmes environ des transports et du raffinage.

Le mode de travail varie d'une raffinerie à l'autre. Il

change dans une même raffinerie avec la nature de l'huile à traiter, avec la valeur du combustible, et surtout avec le cours des nombreux produits qu'on tire du pétrole aux États-Unis.

Le raffineur américain a sous la main et peut choisir les huiles aux diverses densités, décrites dans le chapitre précédent. Il a pour client le monde entier auquel il prépare, à volonté, des produits par centaines de sortes : essences, huiles lampantes, huiles lubrifiantes, paraffines, vaselines.

Les essences sont-elles demandées, il distille les huiles de Washington et de Mac-Donald et le bénéfice sur la vente de l'essence, dont le cours est élevé, lui permet de livrer à meilleur marché les autres produits pour que leur stock ne grossisse pas outre mesure.

L'huile pour le graissage, la paraffine sont-elles en hausse, il traite les huiles de Bradford et d'autres plus lourdes.

L'huile pour le chauffage vient-elle à diminuer, la « Standard Company » active le travail dans ses usines de Lima et de Chicago.

L'huile lourde, l'huile brute elle-même s'accumulent-elles dans les entrepôts, ou bien le charbon éprouve-t-il une hausse, on remplace dans les foyers le charbon par l'huile lourde, par l'huile brute ou par l'essence.

Telle est, en résumé, l'organisation, aussi intelligente que puissante, de la « Standard Company » ; telle aussi la raison pour laquelle l'huile raffinée qui se forme dans tous ces modes de traitement est toujours en abondance et n'acquiert pas une valeur sensiblement supérieure à celle de l'huile brute.

Voici un tableau synoptique des produits qu'on obtenait en 1880, établi par un Français, M. Bourgougnon, ancien préparateur aux Gobelins, qui était inspecteur des pétroles à New-York en 1879 :

				Densités.
Pétrole brut.	Essence brute 1er jet. . .	Essence légère . . .		640 à 670 millièmes.
		Essence à détacher.		690
	Benzine brute. Essence brute.	Essence rectifiée. . .	pour éclairage et production de chaleur.	705
		Essence lavée. . . .		720
	Benzine brute. Rectifié léger.			
	Rectifié de 1er jet.	Pétrole épuré. . . .		795/800
	Résidus ou goudron. Rectifié de 2e jet.			
	Résidus ou goudron. Pétrole lourd n° 2.	Pétrole lourd n° 2. .		850
		Pétrole lourd n° 1. .		845/850
		Paraffine.		
	Résidus ou goudron. Goudron n° 2. Coke et brai. .	Combustible.		

Résumons rapidement le travail dans trois des raffineries que nous avons visitées.

I. — *Usine de la Compagnie de Bear-Creek* (à une heure en chemin de fer de Pittsburg).

Chauffage à l'anthracite de Pensylvanie.

Cinq chaudières, *stills*, en tôle de 500 barils.

La vapeur traverse de longs tuyaux en fer refroidis par un courant d'eau continu, et le liquide est successivement condensé dans des récipients en tôle.

Il suffit de fermer et d'ouvrir une valve pour que le liquide distillé cesse d'arriver dans un des récepteurs et passe dans un autre.

Premier produit. — Naphte léger. Sa densité est de 0,651 à 0,735.

Deuxième produit. — Naphte lourd. Sa densité est de 0,735 à 0,755. A ce point commence la distillation des huiles lampantes dont le nom général est *kérosène*.

Troisième produit. — Water-white ou *huile blanc d'eau* distillant avec des densités comprises entre 0,755 et 0,800,

avec une densité moyenne de 0,785 après épuration à l'acide et à l'alcali. Son point d'éclair (*) en vase clos (appareil Abel) est de 45 à 50° centigrades et sa combustion à l'air se déclare vers 65°.

Quatrième produit. — Light distillate. On recueille dans un nouveau réservoir l'huile qui passe tant qu'elle ne présente pas une teinte louche et brunâtre : ce qui arrive généralement lorsque la densité atteint 0,815 à 0,825 ; le liquide du still est en pleine dissociation.

L'ensemble pèse environ 0,800 ou un peu plus.

On le mélange au deuxième produit et le tout pèse 0,797 à 0,800 parce que le quatrième produit représente une quantité d'huile très forte par rapport à l'autre ; il est connu sous le nom de *Standard-white*.

Sa teinte est très accusée quand on l'examine par comparaison avec les liquides précédents.

Une fois épuré à l'acide et à l'alcali, il présente une coloration qui ne doit pas dépasser un certain degré. On l'évalue en regardant l'huile à la lumière d'une lampe dans des tubes de 16 pouces et demi, et par comparaison avec la teinte fournie par une lame de quartz teinté, préparé à cet effet pour servir de type.

A l'usine de Bear-Creek on produit, outre le Water-white et le Standard-white, des huiles appelées *prime-white*, *prime-white low*.

Le point d'éclair à l'appareil Abel doit atteindre 22°, et sa combustion n'avoir lieu que vers 45°.

Cinquième produit. — Slops. Le liquide resté dans le still, qui passe à partir de ce point est brun noir. On le distille jusqu'à ce qu'il ne reste plus que 3 à 8 p. 100 dans

(*) Voir plus loin (p. 108 à 114) la définition des points d'éclair et de combustion.

la cornue, et on le garde soit pour en fabriquer de l'huile lubrifiante, soit pour le mélanger à l'huile brute des opérations subséquentes.

Sixième produit. — Tar. C'est du goudron qui est réservé pour une distillation ultérieure et dans le but d'en retirer la paraffine.

Dans certains cas, on s'arrête au moment où passent les slops, et le résidu est employé à la fabrication des huiles de graissage. Il pèse 0,885 à 0,903.

MM. Mellon, qui nous ont conduits à cette raffinerie modeste, affirment que les huiles de Washington, traitées à ce moment, produisent le rendement en poids suivant :

Naphte léger	15
Naphte lourd	5
Water-white	28
Distillate light oil	42
Slops	3
Tar	3

Soit un rendement de 96 p. 100, duquel il faut déduire 3 p. 100 pour l'épuration à l'acide et à l'alcali des produits, et les pertes sur le goudron.

Le rendement atteint donc 93 p. 100.

L'usine de Bear-Creek est reliée à une voie ferrée qui emporte ses produits et qui apporte le combustible et les agents d'épuration. L'huile pénètre directement dans l'établissement par pipe-line. L'eau de réfrigération arrive en abondance de la colline au pied de laquelle est adossée la raffinerie et l'eau utilisée s'écoule au ruisseau de la vallée.

Les résidus du traitement à l'acide sont brûlés dans l'usine : ce qui réduit le combustible consommé. On alimente aussi les chaudières à vapeur avec des naphtes lourds lorsqu'on n'en a pas l'emploi dans la fabrication. Les produits très volatils du début ne sont pas utilisés.

II. — *Usine de la Standard Company à Bayonne.*

Cette raffinerie distillait, en janvier 1892, 13.000 barils par jour.

Elle est située sur le bord de la mer dans New-Jersey, à la porte de New-York, au point terminus des pipelines dont l'origine était autrefois à Bradford. On a vu que maintenant la jonction est opérée entre les districts de Washington et Bradford; de telle sorte que l'huile brute des diverses régions de la Pensylvanie est amenée à Bayonne, s'il en est besoin.

Les produits chimiques, le combustible arrivent par mer et par les chemins de fer de Pensylvanie.

Les produits fabriqués sont chargés dans l'usine sur les navires-citernes à voile ou à vapeur de la compagnie.

Cette raffinerie était, à peu près exclusivement, chauffée avec de l'essence brute, lourde, pour la production de vapeur et la distillation. Celle-ci s'exécute dans des chaudières en tôle de 600 barils.

Ce sont des cylindres horizontaux, formés de tôle d'acier, ayant un quart à trois huitièmes de pouce d'épaisseur. Ils sont soutenus aux extrémités et entourés par des murs en briques comme les bouilleurs ordinaires.

Les liquides distillés sont divisés de premier jet en six fractionnements au lieu de cinq comme à Bear-Creek.

Dans cette raffinerie, comme dans les autres de cette compagnie, la condensation est opérée avec des soins extrêmes par beaucoup d'eau et dans un grand nombre de tuyaux, de façon que les liquides soient recueillis à basse température et soumis à l'épuration chimique, aussi froids que possible, ce qui diminue considérablement le déchet.

1° *Naphtes légers*, jusqu'à 0,705 environ; moyenne voisine de 0,700.

2° *Naphtes lourds*, de 0,705 à 0,744.

3° *Naphtes extra-lourds*, light distillate, de 0,744 à 0,765.

4° *Water-white*, de 0,765 à 0,795.

5° *Heavy (lourd) distillate*, de 0,795 à 0,825.

6° *Slops*, de 0,825 au point où l'huile est très brune.

A ce moment, si l'on veut préparer de la paraffine, — et c'est le cas ordinaire, — le résidu bouillant du still est pompé dans un récipient duquel on sépare le coke qui est déjà formé; celui-ci est employé comme combustible. Il reste un goudron épais (*tar*).

Reprenons ces produits successivement.

Le naphte (1) est, soit vendu directement sous le nom de naphte brut en Europe ou dans le pays;

Soit distillé à la vapeur comme naphte;

Soit fractionné en gazoline, dont la densité est de 0,636 à 0,675, et en naphte de 0,675 à 0,720;

Soit fractionné en trois, quatre, et même cinq produits : cymogène, rhigolène, gazoline, naphte léger servant comme dissolvant et pour faire du gaz, naphte pour éclairage et chauffage, naphte lourd très employé pour remplacer l'essence de térébenthine et pour le chauffage.

Le naphte lourd (2) est divisé, par une nouvelle distillation, en benzine et en light-distillate.

La *benzine* est mélangée avec la portion la plus lourde du naphte (1) et le *light distillate* est réuni au light distillate (3).

Le naphte extra-lourd ou light distillate (3) est mêlé avec le heavy distillate (5) en proportions convenables pour former des produits de couleur, de densité et d'un degré d'inflammation tel qu'on le demande dans les divers pays du monde. L'ensemble est, après épuration à l'acide et à la soude, le standard-white ou export-oil, dont l'espèce la plus demandée est le pétrole allemand et

anglais, ayant pour point d'éclair 21 à 24 degrés centigrades.

Le water-white (4) n'a qu'à subir l'épuration pour donner l'huile blanche (water-white) consommée aux États-Unis et dans quelques autres contrées.

La fraction (6) est, soit vendue aux compagnies de gaz sous la dénomination d'*huile à gaz ;*

Soit remise dans les stills avec de la nouvelle huile brute pour être convertie par distillation dans les produits ordinaires de l'huile brute.

Le tar (7) est pris par les fabriques de paraffine et de produits lubrifiants et soumis aux traitements nécessaires pour obtenir les produits réclamés par l'industrie. Ce sont :

8. Vaseline.
9. Cire de paraffine.
10. Nombreux produits et compositions lubrifiants.
11. Huile de gaz.
12. Cires de queue.

Vaseline. — Lorsqu'on demande de la vaseline, le tar est pris vers 0,897 et filtré à travers le charbon animal ou le noir d'os.

Le produit passe d'abord presque incolore et devient graduellement plus foncé à mesure que l'action du charbon s'affaiblit. Les portions filtrées blanches et jaune-clair sont séparées et conservées comme vaseline. Les portions plus foncées sont employées directement ou en mélange dans les huiles de cylindres et autres.

Si l'on emploie le tar (7) pour produire de la vaseline, on ne peut pas obtenir de paraffine.

Pour fabriquer les cires et la paraffine, le goudron est placé dans une cornue d'environ 250 barils de capacité et soumis à l'action du feu.

La chaleur est obtenue, même dans cette opération, au moyen d'essence lourde et d'un courant d'air.

Le premier produit de cette distillation ne contient pas de cire. Il est à la fois trop dense pour l'éclairage et trop peu visqueux pour être employé comme bonne huile lubrifiante ; on le vend généralement sans autre traitement ultérieur pour la fabrication du gaz ; on lui mêle quelquefois les slops (6) provenant de la première distillation.

L'huile à paraffine passe ensuite, avec une densité qui est d'abord de 0,870 et s'élève peu à peu ; le produit (10) est mis dans une cuve et conservé pour un traitement ultérieur.

A la fin de la distillation passe la « cire de queue » (12). C'est une substance d'aspect résineux, de toucher gras, qui est vendue et employée comme matière isolante dans les appareils électriques.

La portion distillée (10) est soumise à l'épuration à l'acide sulfurique dans des agitateurs entourés d'une enveloppe où circule de la vapeur pour que la masse reste bien liquide, puis elle est passée à la soude et à l'eau. Elle est alors soumise à un procédé de réfrigération (par l'ammoniaque) : la cire se solidifie, on en sépare les portions liquides sous des presses hydrauliques.

L'installation de l'usine de Bayonne pour l'extraction de la paraffine est considérable.

La cire (9) pressée à deux reprises constitue les écailles brutes (*crude scale*). On les livre en cet état à divers industriels ou bien on les purifie et on vend le produit tout à fait blanc sous le nom de paraffine ou de cire raffinée. Les procédés de raffinage sont variables ; celui que nous avons vu fonctionner consiste dans un traitement à la benzine de pétrole, qu'on fait suivre quelquefois d'une fusion, prolongée quelques heures, avec du noir animal, et d'une filtration sur de la laine.

Les huiles (10) dont on a séparé la paraffine sont traitées dans l'usine de Bayonne ; on en fabrique un grand nombre de sortes d'huiles lubrifiantes qui sont vendues

en France par la maison Thomson et Bedford. Il existe en Amérique des usines spéciales pour le traitement des résidus du raffinage après la séparation des essences, des huiles d'éclairage et de la paraffine.

Cette huile-résidu à l'état brut est un produit lubrifiant, souvent employé. Sa densité variable est toujours forte : elle atteint 0,915 à 0,925.

On la purifie de diverses façons : par une simple exposition à l'air, par un filtrage au noir animal, par la distillation.

Ce dernier procédé fournit des espèces très différentes comme densité et comme emploi.

Les plus légères n'ont que 0,835 à 0,850 de densité ; tel est le *Summer*, vendu 16 francs au Havre, droit de douane non acquitté. Ce sont les moins estimées. Souvent même ce premier produit de la distillation, ne trouvant pas acheteur, est remis dans la fabrication de l'huile brute de pétrole.

Les huiles qui passent de 0,850 à 0,870 sont employées libres et surtout à l'état de mélange avec des huiles végétales et animales pour leur donner de la consistance ; ce sont les huiles à broches et à pièces mécaniques ordinaires.

Les huiles les plus denses, de 0,880 à 0,930, sont les plus abondantes.

Ce sont aussi les meilleures, surtout pour les pièces de machines qui sont soumises à des pressions énergiques, ou qui tournent à de grandes vitesses.

Certaines huiles lubrifiantes sont amenées aux fortes densités dont on vient de parler par un courant de vapeur surchauffée, destinée à chasser les produits les plus volatils et les moins lourds.

Dans cette usine de la « Standard Oil Company » comme dans celle, tout aussi importante, de Point-Breeze à Philadelphie, que nous avons visitée aussi, on utilise tous les produits formés :

1° Les gaz du début, non condensables, sont ramenés dans les foyers pour économiser le combustible ;

2° Les huiles lourdes sont brûlées si l'on n'en fabrique pas de la paraffine, de la vaseline ou des huiles lubrifiantes ;

3° Les goudrons sulfuriques sont étendus d'eau ; on en retire un goudron épais qui est brûlé après lavage, et de l'eau acide qui est utilisée pour fabriquer du sulfate de fer, ou comme engrais ;

4° Le coke trouve son emploi comme combustible ou dans l'industrie électrique.

III. — *Usine de la Standard Company à Whiting dans le voisinage de Chicago.*

Cette usine, toute récente et extrêmement vaste, occupe 1.000 ouvriers et recouvre 300 acres (*).

Ce personnel très considérable est justifié par l'immense production, par la grande variété des produits formés, par la fabrication des accessoires de toute sorte, caisses, boîtes, bidons en fer-blanc, etc. En outre, le personnel industriel, qui est minime dans les autres usines, est plus fort dans celle-ci parce que l'huile traitée est l'huile de Lima, dont il faut opérer la désulfuration par des procédés difficiles et encore à l'état d'essai.

La raffinerie est sur la voie ferrée et constitue le terminus des pipe-lines qui amènent l'huile de Lima. Elle est même l'origine de pipe-lines qui transportent l'huile brute ou l'huile lourde à des établissements industriels.

On y travaille par an au moins 10 millions de barils d'huile de Lima. L'usine de Lima en raffine environ 3 millions. La « Standard Company » vient d'ajouter une annexe à son usine de Cleveland pour augmenter la production.

(*) L'acre vaut 40 ares 46.

La raffinerie de Chicago possède :

1° 100 stills à distiller l'huile brute, de 600 barils chacun ; à 40 d'entre eux sont joints des appareils pour traiter les vapeurs distillées par l'oxyde de cuivre dans le but de désulfurer l'huile ; les 60 autres sont des appareils ordinaires ;

2° 16 stills de 100 barils pour distiller l'huile sur de l'oxyde de cuivre ;

3° 21 stills de 500 barils, où l'on distille les essences à la vapeur ;

4° 40 stills de 250 barils pour traiter les huiles à paraffine.

Les chaudières à vapeur, les stills, sont chauffés à l'huile brute ou à l'huile lourde.

Pour se rendre compte du mode de traitement suivi à Whiting, il faut connaître la nature de l'huile de Lima, qui est sulfureuse et dont la composition est très variable, car, ainsi qu'on l'a déjà indiqué, la densité de l'huile brute oscille entre 0,816 et 0,850.

D'après une publication récente de M. Weeks, qui rédige depuis plusieurs années les documents officiels sur le pétrole, cette huile fournirait, en moyenne :

Naphte et huile lampante	56,88
Huiles lourdes	32,00
Résidus	9,60
Eau	0,70
Soufre en moyenne	0,65
Total	99,83

Voici d'autres résultats du même auteur :

Naphte à 0,700	16
Huile lampante	68
Huile de paraffine	6
Résidu solide	10
Total	100

Un rendement ordinaire serait, d'après M. Weeks :

Produit distillé à	0,740	13,75
	0,748	35,40
	0,822	7,93
	0,840	13,40
	0,843	18,60
Résidu		9,65
Eau		0,70
Total		99,43

On s'attache d'abord à mélanger les produits de divers puits de façon à faire des huiles ayant autant que possible la même composition.

Deux procédés sont employés pour le traitement des huiles de Lima. Tous deux reposent sur la désulfuration par l'oxyde de cuivre, procédé connu en France où il est employé pour désulfurer les eaux glycérinées, sulfureuses, des savonneries de Marseille.

Dans le premier système, on distille l'huile brute sans réactif et l'on dirige les vapeurs dans des appareils non refroidis, contenant de l'oxyde de cuivre, qui s'échauffent de plus en plus parce que les vapeurs ont une température de plus en plus élevée à mesure que la distillation progresse. Les vapeurs sont ensuite condensées par passage dans des tubes en fonte, de très grande surface, plongés dans de l'eau maintenue froide.

Le second moyen paraît devoir faire disparaître le précédent, malgré la nécessité de deux opérations. On commence par distiller l'huile à la méthode ordinaire sans oxyde de cuivre. On sépare le résidu et on redistille les essences et les huiles lampantes, dans des stills, contenant de l'oxyde de cuivre, munis d'agitateurs qui brassent le liquide incessamment et énergiquement, de façon que l'oxyde de cuivre, très divisé et en excès, soit en suspension dans l'huile.

On nous a montré que l'huile, qui noircit énergique-

ment par l'acétate de plomb avant le traitement, ne donne aucune teinte avec ce réactif après l'attaque par l'oxyde de cuivre.

Les essences et les huiles ainsi fabriquées ne se distinguent pas, nous a-t-on affirmé, des huiles pensylvaniennes quand on les brûle : il ne se dégage pas de vapeurs sulfureuses, les mèches ne charbonnent pas, les verres restent sans se tacher.

L'oxyde de cuivre doit être en grand excès, car, sans cette précaution, les tuyaux sont rapidement corrodés, et même on substitue aux tuyaux en tôle des tuyaux épais en acier.

Le sulfure de cuivre formé, mélangé de goudron, est égoutté à froid, puis dans des fours inclinés. Le résidu, qui paraît sec, passé sous des pilons ou des meules, redevient liquide. La masse épaisse est envoyée sous des filtres-presses, et les pains obtenus, concassés, sont conduits dans le haut de cylindres en tôle, doublés de briques réfractaires, chauffés par un foyer inférieur. Ces cylindres portent six tablettes en matériaux réfractaires sur lesquelles le sulfure de cuivre descend successivement, et lorsqu'il arrive sur la tablette inférieure, il est changé en une poudre fine d'oxyde de cuivre.

La chaleur du foyer a pour effet unique d'entretenir une température suffisante pour que le sulfure de cuivre, imprégné de produits hydro-carbonés, prenne feu et s'oxyde, de telle sorte que la presque totalité de la chaleur est dégagée par l'oxydation du sulfure de cuivre. L'oxyde de cuivre est retiré et séché à l'air, en couches minces, sous des hangars.

La fabrication était assez active, le 11 février 1892, pour qu'on eût à régénérer 75 à 100 tonnes d'oxyde par jour.

La matière cuivreuse originelle est de la pyrite cuivreuse grillée, de la matte ou du cuivre noir provenant des mines du lac Supérieur.

L'acide sulfureux provenant de cette épuration est perdu dans l'atmosphère, mais on doit prochainement monter des chambres de plomb pour l'utiliser à la fabrication de l'acide sulfurique.

Les appareils de condensation sont très perfectionnés dans les usines de cette compagnie. Ils se composent d'une série de longs serpentins immergés dans des bacs alimentés par des eaux courantes. Les tuyaux de ces serpentins convergent aux récepteurs ou ils débouchent les uns auprès des autres, dans une chambre spéciale. Ces récepteurs ont la forme de boîtes dont les parois en verre sont disposées de façon à permettre non seulement de suivre la marche de l'opération, mais encore de prélever des échantillons pour en faire l'essai. Généralement les vapeurs non condensées sont dirigées sous les chaudières ou les alambics pour y être brûlées, ce qui donne de sérieuses économies de combustible.

On a renoncé dans les usines de la Standard à la distillation dans le vide ou sous l'influence de la vapeur surchauffée.

Épuration des produits. — Elle est opérée par des traitements à l'acide sulfurique, à l'eau et à la soude caustique. L'acide sulfurique est employé à l'état concentré et la soude en dissolution à 12 ou 15° Baumé ; la soude des usines américaines est d'origine anglaise.

Pour les produits légers un demi p. 100 d'acide suffit ; le brassage se fait au moyen de palettes rotatives et non au moyen d'une soufflerie comme pour les huiles proprement dites.

Pour l'épuration des huiles lampantes on emploie 1 à 1 1/2 p. 100 d'acide sulfurique.

L'opération s'exécute dans de grands bacs cylindriques en tôle doublée de plomb ; le fond du cylindre a la forme d'un entonnoir qui se termine par un tube auquel est

adapté un robinet servant au soutirage de l'acide sulfurique et des liquides de lavage.

Avant de traiter le produit, il faut abaisser sa température au-dessous de 15° et avoir bien soin de purger complètement l'eau.

On agite l'huile en y introduisant peu à peu environ la moitié de la charge d'acide, et on continue l'agitation aussi longtemps que l'élévation de température indique qu'il se produit une action, puis on laisse reposer et on soutire l'acide à l'état de boue liquide. Après avoir ajouté le restant de l'acide, on fait un second brassage complet. L'acide soutiré, chargé des sulfoconjugués des oléfines, s'écoule coloré en brun très foncé.

L'huile est jaune-paille clair ; elle est lavée avec de l'eau qu'on introduit au moyen d'un tuyau perforé qui fait le tour de la partie supérieure du bac. Cette eau pénètre à travers l'huile, s'empare de l'acide et s'échappe en un courant continu par le fond de l'appareil. Quand l'eau ne décèle plus de traces appréciables d'acidité, on arrête le lavage et l'on introduit environ 1 p. 100 d'une solution de soude caustique à 15° Baumé et on procède à un nouveau brassage de l'huile. On laisse reposer, on soutire et les huiles sont alors dirigées dans les bacs de dépôt.

Après le traitement à la soude, on fait quelquefois un lavage à l'eau, mais cet usage n'est pas général.

Les bacs à dépôt sont peu profonds, exposés à l'air et à la lumière ; les huiles laissent déposer l'eau qu'elles peuvent contenir et deviennent claires et brillantes. Des serpentins à vapeur installés dans ces bacs permettent de chauffer les huiles quand le temps est froid, pour faciliter la précipitation.

La proportion d'acide s'élève à 4 et 6 p. 100 pour l'épuration des huiles à paraffine.

En Amérique, on nomme *sludge* l'acide et l'alcali altérés, retirés des agitateurs.

L'acide forme une masse goudronneuse noire.

L'alcali est changé en une espèce de lait caillé savonneux, qui produit une masse couleur de rouille et des composés qui entrent en solution avec le sulfate de soude.

En évaporant le sludge de soude à sec et en calcinant pour brûler la matière organique, on obtient un carbonate de soude impur, que l'on peut convertir en soude caustique par les procédés ordinaires. Le sulfate de soude et les autres impuretés s'accumulent dans la solution de soude et finalement rendent son action imparfaite. Ce procédé, essayé d'abord pour récupérer la soude, a été abandonné.

Le sludge acide se sépare en deux couches, une superficielle huileuse et une plus lourde contenant l'acide.

Dans certaines usines, le liquide est soutiré, évaporé et concentré comme l'acide des chambres de plomb, les matières charbonneuses sont détruites par la température élevée que demande la concentration. Ce procédé fonctionne à Whiting.

A Cleveland, à Lima et près de Titusville (Pensylvanie), il y a des établissements pour récupérer l'acide employé, où l'on conduit le sludge acide dans des wagons-citernes ; l'acide régénéré est rendu aux raffineurs au prix courant de l'acide sulfurique.

Les sludges acides sont vendus aux fabricants d'engrais dans les pays où les raffineurs y ont intérêt.

Ailleurs on le perd dans les rivières, dans les lacs, dans la mer. La quantité de ce produit qui a été versée dans Oil-Creek et la rivière Allegheny est énorme. Il s'est fixé sur les rochers et sur le sable le long de la rivière et les a teints en noir ; il a détruit le poisson dans plusieurs cours d'eau. En 1884, on a employé 45.819,5 tonnes d'acide sulfurique dans les usines à pétrole ; sur cette quantité on en a récupéré 21.158,75 tonnes, on en a

vendu 22.162,5 tonnes aux fabricants d'engrais et 2.498 tonnes ont été jetées dans le lac Érié, les affluents de la rivière d'Ohio, la rivière Delaware, la baie Chesapeake ou l'Océan.

Dans les usines de la « Standard Company », les résidus acides sont traités par l'eau ; il se sépare à la surface un goudron épais, une très petite quantité seule se précipite au fond.

Ces goudrons recueillis sont séchés et brûlés.

A Bayonne, la liqueur acide est vendue pour former des engrais ou pour fabriquer du vitriol vert. Dans plusieurs, comme à Whiting, elle est évaporée dans des chaudières en plomb puis en verre. On consomme moitié plus d'acide environ pour traiter l'huile de Lima que l'huile de Pensylvanie, et ce sera une grande économie de changer en acide sulfurique le soufre de l'huile de l'Ohio.

A Chicago, l'acide sulfurique à 66° coûte 80 cents les 100 livres et l'alcali 400 cents.

A New-York, l'acide sulfurique à 66° coûte 90 cents les 100 livres.

100 livres pèsent 45kg,5 ce qui met le prix des 100 kilogrammes à 1 dollar 97, soit 9 à 10 francs les 100 kilogrammes.

RENDEMENT DES HUILES BRUTES DE PÉTROLE AUX ÉTATS-UNIS.

Dans l'usine de Bear-Creek, on évalue les pertes à 7 p. 100 au maximum de l'huile mise en œuvre.

Le directeur d'une des usines de la « Standard » considère que le rendement d'une huile mélangée de Pensylvanie oscille autour des nombres suivants :

Naphtes	8 à 20kg p. 100
Huiles raffinées	78 à 70kg —

Résidu	9 à 3kg	—
Pertes, environ	5	—

Pour d'autres personnes compétentes, le rendement de l'huile du gisement de Washington se décompose ainsi :

Naphtes	15 à 17kg	p. 100
Huiles raffinées	70 à 72kg	—
Paraffine, huiles lourdes	6kg	—
Coke	2kg	
Gaz et pertes	3kg	

Enfin le mélange d'huile des divers districts de la Pensylvanie, envoyé dans les distilleries du bord de la mer, produirait :

Naphtes	9kg
Huiles raffinées	77kg
Paraffine, huiles lourdes	9kg
Gaz, coke et pertes	5kg

Rendement en poids de 100 gallons d'huile brute (renseignements donnés par « l'Oil Standard company »).

Distillation.	Redistillation.	Rendement. gallons.
13 gallons de naphte	15 p. 100 gazoline	1,95
	45 — naphte désodorisé ou redistillé	5,85
	30 — naphte à gaz	3,90
	5 — fonds de naphtes	0,65
	5 — de perte.	
20 — d'huile blanche d'eau (water-white)		20,00
54 — de Standard-white		54,00
8 — de goudron	10 p. 100 de cire	0,80
	30 — de paraffine	2,40
	40 — d'huile à gaz	3,20
	20 — de perte.	
5 — de pertes	Pertes nettes égalent	7,25

En résumé, le rendement des huiles brutes de pétrole, de la nature de celles qu'on expédie en France, dépasse, en Amérique, 92 p. 100 en poids et il atteint 94 à 95 dans les raffineries perfectionnées où l'on n'opère pas des fractionnements nombreux pour en retirer les diverses

espèces de naphtes et les produits paraffineux à l'état de pureté.

Ces résultats sont confirmés par les nombreuses analyses, faites par distillations fractionnées au 1/20 sur 600 centimètres cubes d'huile distillés en 7 à 8 heures. Elles ont été exécutées sur un grand nombre d'échantillons d'huiles que nous avons prélevés nous-mêmes en Amérique et en voici quelques exemples :

Tableau fournissant les températures de distillation et les densités des fractionnements au vingtième des huiles brutes, dont l'espèce est envoyée en France, pour y être distillées.

NUMÉROS des fractionnements	HUILE de Washington prélevée dans les Cars, usine de Bayonne (MM. Fenaille et Despeaux) — DENSITÉ A 15° 0,797		HUILE BRUTE de Foxburg prélevée à l'usine de MM. Deutsch, à Point-Breeze (Philadelphie) — DENSITÉ A 15° 0,7912		HUILE BRUTE de Taylorstown prélevée à la Raffinerie Bear Creek, près Pittsburg (Washington) — DENSITÉ A 15° 0,7894		HUILE BRUTE de pétrole Mac Donald (district de Washington), 5e sable — DENSITÉ A 15° 0,7870		HUILE BRUTE de pétrole Pump station d'Evans City, sable de 100 pieds — DENSITÉ A 15° 0,7970		HUILE BRUTE de pétrole Pump station de Zéliénople (Butler County) — DENSITÉ A 15° 0,785	
	Températures d'ébullition (*)	Densités	Températures d'ébullition (*)	Densités	Températures d'ébullition (*)	Densités	Températures d'ébullition (*)	Densités	Températures d'ébullition (*)	Densités	Températures d'ébullition (*)	Densités
1	108	0,6838	120	0,6858	120	0,6862	119	0,6874	120	0,7014	127	0,713
2	134	0,7092	126	0,7006	143	0,7091	125	0,7084	140	0,7464	134	0,718
3	156	0,7218	118	0,7178	151	0,7248	130	0,723	151	0,7280	145	0,728
4	169	0,7354	149	0,7256	176	0,7364	128	0,7345	160	0,7386	157	0,733
5	172	0,7492	164	0,7346	190	0,7464	115	0,743	170	0,7474	148	0,741
6	174	0,7586	171	0,7442	201	0,7546	117	0,752	181	0,7578	147	0,746
7	150	0,7664	189	0,7552	181	0,7678	122	0,7608	169	0,7674	145	0,7518
8	145	0,7762	190	0,7636	212	0,7738	129	0,770	180	0,7764	148	0,7588
9	154	0,7863	197	0,7696	197	0,7828	142	0,779	191	0,781	155	0,7673
10	171	0,793	192	0,7786	219	0,7900	152	0,7883	186	0,7931	166	0,7748
11	144	0,8003	199	0,7892	196	0,7973	160	0,7995	190	0,7993	168	0,7853
12	187	0,811	205	0,8007	252	0,8076	185	0,8098	194	0 8123	180	0,7990
13	188	0,8156	240	0,8148	263	0,8176	200	0,8168	202	0,8201	194	0,8063
14	212	0,813	279	0,8187	270	0,8208	214	0,8181	223	0,8271	204	0,8133
15	223	0,8037	320	0,8237	274	0,816	224	0,8181	244	0,8265	228	0,8245
16	236	0,8167	340	0,8247	284	0,8261	228	0,8239	240	0,8152	250	0,8150
17	235	0,8117	380	0,8265	290	0,8146	240	0,8012	243	0,8112	270	0,8241
18	235	0,8105	»	0,8008	300	0 8191	252	0,8162	230	0,8062	280	0,8139
19	244	0,8155	»	0,834	310	0,8268	257	0,8199	240	0,8100	300	0,8199
20	264	0,8404	»	0,8471	370	moitié	»	»	283	0,8378	»	0,8393

(*) En degrés centigrades.

Comparaison entre les procédés de raffinage en France et aux États-Unis. — Le système français et le système américain diffèrent dans la manière de terminer le raffinage.

En Amérique, on distille de premier jet jusqu'à ce que l'huile qui passe soit assez concentrée par la distillation et par la dissociation pour qu'on retire économiquement la paraffine; c'est le cas général. Il est rare qu'on se serve du résidu de la distillation pour fabriquer des huiles lourdes sans séparation de la paraffine, parce que les produits obtenus dans ces conditions sont de basse qualité, se troublent et se figent à trop haute température. D'autre part, la fabrication de la vaseline est relativement peu importante.

En France, on arrête la distillation vers la fin, et on transporte le goudron épais, qui reste, dans le black-pot où on le chauffe jusqu'au coke.

En 1855, le professeur Silliman, ayant entre les mains un échantillon de pétrole, lequel n'était pas encore un objet d'exploitation, remarqua que lorsqu'on le distille, le point d'ébullition, qui monte d'abord régulièrement, baisse à un certain moment et éprouve des variations; il en conclut que le pétrole se détruit dans ces circonstances, à la façon d'une foule de composés organiques, et même il se demanda si le pétrole, tel qu'on le retire du sol, n'est déjà pas lui-même un produit de distillation destructive.

Aujourd'hui, si le second point est encore controversé, le premier est hors de doute. La distillation, qui, au début, paraît n'avoir d'autre effet que de séparer des produits préexistants, donne bientôt lieu à une décomposition (cracking); la température oscille; des hydrocarbures, les uns plus légers, les autres plus lourds, prennent naissance en même temps que du charbon se sépare.

Les hydrocarbures du pétrole naturel sont presque exclusivement formés de carbures saturés homologues dont il existe plusieurs sortes isomères; après le cracking, ces hydrocarbures sont mélangés à d'autres de séries diverses, à des oléfines surtout.

Si la température n'est pas très haute, on obtient des carbures plus légers qui sont, pour la plupart, des liquides. Si la température est très haute, ces liquides deviennent de plus en plus volatils, gazeux même comme le formène, l'éthylène; il se forme, en résumé, du charbon, quelques carbures lourds et surtout des carbures plus légers, plus inflammables, à molécule moins chargée de carbone et d'hydrogène.

Cette destruction, donnant lieu à des composés moins complexes d'autres séries, a été vérifiée par Thorp et Joung sur les derniers termes de la série des carbures saturés, appelés aussi *paraffines*, qui sont solides et constituent la paraffine proprement dite.

Ils ont constaté qu'en la distillant sous pression, elle se décompose, pour la majeure partie, en carbures de la série des oléfines et, pour une faible partie, en carbures de la série des paraffines.

Si, au lieu d'opérer dans ces conditions, on dirige de la paraffine sur du coke porté au rouge, elle se transforme surtout en produits gazeux; une analyse de ces gaz a donné :

CH^4 (gaz des marais)	54,92
C^2H^4 (éthylène)	28,91
H (hydrogène)	5,65
CO (oxyde de carbone)	8,94
CO^2 (acide carbonique)	0,82

Les hydrocarbures légers de la série saturée se comportent de la même façon.

Ainsi la décomposition des huiles de pétrole par la chaleur a pour effet de produire des oléfines liquides, des gaz et du coke. Les oléfines liquides sont, pour l'éclairage, de qualité inférieure aux hydrocarbures saturés naturels du pétrole.

La méthode américaine est donc logique parce qu'elle se propose de retirer de l'huile brute les produits qui s'y trouvent, en leur faisant subir le moins d'altération possible : naphtes, pétroles lampants, huiles lourdes, paraffines.

La méthode que suivent les raffineurs français est, au contraire, absolument irrationnelle. Après avoir extrait le naphte et le pétrole lampants, on s'efforce de détruire les huiles lourdes, excellentes pour le graissage, ainsi que la paraffine qui a une valeur élevée, et de les changer en huiles d'éclairage dont la basse qualité altère l'huile d'éclairage à laquelle on l'incorpore.

Cette méthode n'est pas d'origine française. Elle représente une modification fâcheuse d'un procédé breveté, en 1859, par Atwood, de Boston, et appliqué par J. Merrill, de la « Down Kerosene Oil Company ».

Au début de l'exploitation du pétrole, l'huile lourde étant à peu près sans valeur, 10 cents le gallon, M. Merrill la soumit au procédé Atwood, qui consiste à décomposer l'huile dans des vases en fonte par une température aussi peu élevée que possible sous l'action d'un courant de vapeur. Il obtint de l'huile à 0,800 de densité, qu'il vendait 90 cents à 1 dollar 40 le gallon.

On dit que la « Down Kerosene Company » pratique encore ce genre de fabrication, qui doit donner un rendement plus fort que la décomposition brutale par la chaleur, suivie en France, et fournir de meilleurs produits.

Nous terminerons ce chapitre en indiquant les prix de vente par gallon des principaux produits marchands retirés des huiles brutes américaines ainsi que les

propriétés, les emplois et les essais de ces différents produits :

Prix de vente en gros des principaux produits de l'essence et du pétrole lampant, relevé, à la raffinerie de Chicago, le 10 février 1892.

		Densité.	Prix par gallons.
Naphte pour gaz (essence)		0,725 à 0,736	3 cents 1/2 en vrac.
—		0,700 à 0,707	3 3/4 —
—		0,700 à 0,707	3 3/4 —
—		0,679 à 0,686	4 1/4 —
Naphte désodorisé		0,679 à 0,686	8 1/4 —
Gazoline pour foyers désodorisée			8 1/4
Gazoline		0,648	12
—		0,645	12
—		0,642	13
—		0,636	16
Water-white.	Point d'éclair à 110° Far. ou 44° cent.		7 cents 1/2 en barils.
	— à 120° Far. ou 49° cent.		7 3/8 —
	— à 150° Far. ou 65° cent.		7 1/2 —
	Jova		7 1/2 —
	Michigan		7 3/8 —
	Minnesotta		7 1/2 —
	Dakota		7 1/2 —
	Wisconsin		7 3/8 —
	Nebraska		7 1/2 —
Headlight brûlant à 175° Far. ou 80° cent			9 1/2 —
Standard-white.	Point d'éclair à 110° Far. ou 44° cent.		7 1/2 —
	— à 150° Far. ou 65° cent.		7 1/4 —

Essences. — *Cymogène* gazeux à la température ordinaire, liquéfiable par le refroidissement et la pression.

Bout vers 0°.

Est utilisé pour la fabrication de la glace.

Rigolène condensable dans la glace ou mieux dans un mélange de glace et de sel.

Bout à 18°,3 ; densité 0,600 ; serait employé en médecine comme anesthésique.

Éther de pétrole. — Bout de 40 à 60° ; densité 0,650 à 0,660 ; sert à carburer l'air pour la fabrication du gaz,

utilisé comme dissolvant du caoutchouc et des huiles grasses.

Gazolines. — On donne ce nom au mélange très complexe qu'on obtient par la rectification des essences sans isoler les produits très légers et très volatils dont on vient de parler.

Bout de 50 à 90° ; densité de 0,635 à 0,670 et 0,690.

On en fabrique par distillation plusieurs sortes ; les principales sont aux densités de 0,636, 0,645, 0,648, 0,666.

On les emploie pour beaucoup d'usages :

Carburation du gaz ;

Chauffage dans les fourneaux de cuisine ;

Chauffage de la petite industrie pour fondre, souder, etc. (le liquide est placé dans un réservoir supérieur communiquant aux appareils par un tube muni de robinets) ;

Éclairage des rues, dans les pays où il n'y a pas de gaz ;

Dissolution des résines, essences, dans la fabrication des vernis et des toiles cirées ;

Extraction des huiles de graines.

Naphte. — Bout de 80 à 110° ; densité de 0,680 à 0,725 et 0,736. Mêmes usages que la gazoline ; sert surtout dans les pays plus chauds, ou quand la température devient élevée, pendant l'été.

Il en existe plusieurs sortes, qui se différencient par la densité et le point d'ébullition plus ou moins élevé.

On distingue la *ligroïne*, qui bout de 80 à 120°, dont la densité est de 0,710 à 0,730. Employée comme dissolvant en pharmacie, comme combustible dans les lampes à éponges, qui sont rares en Amérique.

Contrairement à ce qui se pratique en France, il est interdit à New-York et dans plusieurs États de l'Amérique

de se servir des essences pour l'éclairage dans les appartements. Cependant, on peut dire que les lampes à éponge de notre pays ne sont pas des causes sérieuses d'accidents. Ces essences servent d'une façon fréquente aux États-Unis, pour l'éclairage public extérieur.

A New-York et ailleurs, les boutiques en plein vent dans les quartiers pauvres sont éclairées par une flamme fumeuse allumée à l'extrémité d'un bec, le plus souvent sans verre, qui est en communication avec un réservoir supérieur de un quart de litre à un litre, contenant la gazoline.

Dans beaucoup de campagnes, à Harmony, Zeliénople, etc., les rues sont éclairées par ce système.

Dans les pays froids, ou par le froid de l'hiver, on fait usage, pour ces appareils, de gazolines bouillant à basse température et très légères; dans les contrées chaudes, ou pendant les chaleurs de l'été, on se sert de gazolines moins légères ou même de naphte à 0,700 et 0,710.

Benzine. — Bout de 120 à 150°; densité 0,720 à 0,740 ou 0,745.

Très employée pour dégraisser, détacher, nettoyer les caractères d'imprimerie; pour remplacer l'essence de térébenthine dans les vernis, peintures, etc.

C'est dans cette catégorie qu'on doit ranger l'*heavy naphta*, ou essence lourde, qui est d'un usage considérable pour le chauffage; elle est trop lourde pour entrer dans les naphtes et trop légère pour passer aux pétroles lampants.

Ainsi, nous l'avons vu remplacer le charbon à la raffinerie de Bayonne, servir dans la fabrique de bidons de la « Standard Company », à New-York, pour fondre l'étain, étamer la tôle, souder, etc. Comme il faisait très froid à ce moment (30 janvier 1892), cette essence lourde était chauffée dans une enveloppe extérieure au

réservoir qui la contenait; on peut l'entraîner aussi par un jet de vapeur ou par une injection d'air sous pression.

Huiles d'éclairage. — Les huiles dont la densité est supérieure aux précédentes constituent les pétroles lampants. On les titre par deux étalons : la couleur et la combustion.

La couleur varie du jaune pâle (Standard-white) au blanc paille (Prime-white), pour arriver à la teinte blanche de l'eau (Water-white).

L'essai par combustion (fire test) s'exécute de deux façons très différentes : ou bien on détermine le degré de chaleur nécessaire pour que l'huile chauffée en présence de l'air donne lieu à une explosion accompagnée d'une flamme qui s'éteint aussitôt : c'est le *point d'éclair* (flashing point).

Ou bien, on détermine le degré de chaleur nécessaire pour que l'huile, ayant pris feu à l'air libre, continue à brûler (burning point).

Le point d'éclair est obtenu, suivant les contrées, dans des appareils différents qui, autrefois, consistaient en une capsule ouverte largement à l'air qu'on chauffait; de temps à autre, on approchait une allumette et l'on notait le degré indiqué par le thermomètre au moment où l'explosion et l'éclair se déclaraient.

Ces appareils donnent, entre les mains du même opérateur, des résultats souvent très différents, par suite de l'agitation de l'air, qui entraîne plus ou moins les vapeurs du liquide ou qui mélange plus ou moins l'air et ces vapeurs.

On en emploie encore plusieurs dans divers États d'Amérique; le plus usité est celui de Tagliabue.

M. Abel, l'éminent chimiste anglais, a imaginé un appareil dans lequel les vapeurs d'huiles formées sont dans un espace clos avec un volume d'air toujours le

même, et à intervalles égaux une petite lampe est amenée à la surface du réservoir à huile; on note la température au moment où l'éclair apparaît.

Ce système est préférable à celui de l'appareil ouvert, car un même opérateur obtient des résultats très voisins les uns des autres pour une huile déterminée.

Il existe, entre les nombres fournis par les appareils ouverts et l'appareil Abel, une différence qui est donc variable, puisque les résultats d'un appareil ouvert sont très discordants. Cette différence peut être très forte; par conséquent, on doit toujours indiquer l'appareil dont on fait usage.

Aujourd'hui, dans un grand nombre de pays, on se sert du procédé Abel, en Angleterre et en Allemagne notamment.

Un arrêté du Ministère de l'agriculture et du commerce, en date du 5 septembre 1873, a prescrit en France, sur l'avis du Comité consultatif des arts et manufactures, l'emploi de l'appareil Granier.

Nous n'avons pas à le décrire ici. C'est un appareil ouvert; les résultats qu'il fournit s'écartent, moins que ceux des autres appareils, des résultats de l'appareil Abel, parce que le liquide monte dans une mèche fixe, et que c'est sur ce point qu'a lieu le point d'éclair, et non sur toute la surface d'un bain étendu.

Il a le précieux avantage d'être très portatif et très simple, ce qui permet à un inspecteur d'effectuer des essais dans un établissement de vente, par exemple, au lieu de l'obliger à prélever du liquide et à l'essayer dans son laboratoire.

Nous avons tenu à nous rendre compte des différences données par ces deux appareils, et aussi des points d'éclair des huiles vendues dans les divers pays : États-Unis, France, Suisse, Allemagne, Belgique ; nous les avons donnés dans notre mémoire complet.

Le deuxième mode de détermination du fire test, est le *burning point*.

Il est encore usité en Amérique pour quelques États, et même l'appareil varie pour certains d'entre eux. Celui de Tagliabue peut servir à donner le burning point, comme le flashing point.

Le burning point est demandé aussi pour certains pays et, dans ce cas, on fait usage généralement de l'appareil Sayboldt.

Celui-ci consiste essentiellement en une petite capsule en cuivre, qui est chauffée dans un bain-marie par une lampe à alcool; deux thermomètres donnent, l'un la température du bain, l'autre celle de l'huile.

On peut, au moyen de deux petites piles au bichromate, faire jaillir de très fines étincelles électriques au-dessus de la surface de l'huile qu'on essaie. Le passage de l'étincelle peut être déterminé soit à intervalles égaux, soit au moment où le thermomètre plongé dans l'huile monte d'un degré.

On note le degré indiqué par ce thermomètre au moment précis où la vapeur d'huile prend feu avec explosion, puis s'éteint : ce serait le flashing point.

L'étincelle a une action instantanée et d'un pouvoir calorifique trop faible pour que la surface de l'huile s'échauffe plus que la masse totale.

Il est clair qu'en continuant l'action du feu, un moment arrivera où l'huile prendra feu, c'est le burning point. En général, l'appareil Sayboldt sert à déterminer ce dernier point.

Dans le laboratoire d'essai de New-York, on essaie couramment les huiles lampantes suivantes pour l'exportation; voici le résultat des essais effectués par l'un de nous à ce laboratoire.

DENSITÉ DE L'HUILE			FLASHING POINT (Abel)	BURNING POINT (Sayboldt)	PAYS destinataires
Standard-white	0,795 à	0,804	»	43°,5	Italie.
	0,795	0,804	»	46°,5	»
	0,790	0,804	»	49°	Suède, Norvège.
	0,795	0,804	21°	»	Allemagne.
	0,790	0,804	23°,5	»	Angleterre.
	0,790	0,804	25°	»	Indes anglaises.
	0,790	0,804	»	49°	Suède et Norvège.
Prime-white	0,790	0,800	21°	»	Allemagne.
	0,790	0,800	»	65°	Nombreux pays.
Water-white	0,782	0,790	»	65°,5	Londres.
	0,786	0,790	»	149°	»
Signal oil	0,823	0,833	»	100° Tagliabue.	»
Home trade New-York.	0,785	0,793	»	100° à un appareil spécial.	»
État de New-York	0,785	0,795	»		

On fabrique aussi très abondamment : le headlight oil à 65°,5, mais d'un blanc parfait; le spermaceti à 149°.

Il existe d'autres appareils ouverts et d'autres modes d'essai pour les États du Visconsin, de l'Ohio, de Kentucky, du Tennessee.

HUILES LOURDES. — Passons à la troisième sorte de produits, les huiles lourdes.

On a vu que certaines huiles sont lourdes à l'état naturel :

En Pensylvanie : à Smethport, Franklin et Smith's Ferry; en Virginie : à Volcano; dans l'Ohio : à Lima; en Californie; au Colorado.

Certaines sont employées à l'état naturel, mais c'est l'exception; la plupart sont soumises à l'action du feu (reduced oil) autrefois dans des appareils ouverts au soleil, actuellement dans des appareils distillatoires en s'efforçant de surchauffer le moins possible. Suivant la valeur du produit final, on les soumet à des épurations plus ou moins soignées par l'acide sulfurique, la soude, l'action prolongée de l'air, un courant de vapeur, etc.

La majeure partie des huiles lourdes est extraite du résidu que laissent les huiles ordinaires après l'extraction des essences et des produits lampants.

Dans quelques usines où l'on traite des pétroles ne contenant que des quantités très minimes de paraffines, on change directement le résidu en huile de graissage, mais c'est encore une exception. Les huiles de graissage sont généralement constituées par les huiles plus ou moins lourdes qui restent après l'extraction de la paraffine.

On a vu, à propos de ce traitement, que leur densité est très variable; il en est de même pour leur viscosité qui est moindre que celle des huiles du Caucase à densité semblable; celles-ci, d'ailleurs, ne renferment pas de paraffine et, par suite, elles ne figent pas quand elles se trouvent amenées à de basses températures.

Les tableaux suivants font connaître les propriétés utiles de quelques-unes de ces huiles et les différences dans la viscosité des huiles lourdes américaines et russes.

QUALITÉ	DENSITÉ à 15° C.	INFLAMMABILITÉ		VISCOSITÉ A 100° C. d'après le viscomètre Engler	
		des vapeurs	de l'huile	Viscosité en minutes et secondes	Viscosité spécifique comparée à l'eau à 20°,1
Ajax cylinder	0,893	240° C.	271° C.	2′, 4″	2,32
A. Cylinder	0,898	290	322	3,46	4,23
N. Cylinder	0,906	295	326	4,28	5,01
Dark N. cylinder	0,902	300	Ne brûle pas au-dessous de 300° C.	4,6 1/2	4,08
Continental cylinder	0,889	260	294°	2,22	2,65
Cosmos cylinder	0,893	255	285	2,40	2,99
Economic cylinder	0,893	283	312	3,13	3,61
Extra filtered cylinder	0,892	280	314	3,32	3,96
Cold test cylinder	0,893	266	296	2,52	3,22
XXX. Valvé oil	0,893	294	323	3,37	4,06
FFF. Cylinder	0,891	302	330	3,37	4,06
Locomotive cylinder	0,899	321	346	4,40	5,24

HUILES	DENSITÉ	VISCOSITÉ à 70° F. (21°,1 C.)	VISCOSITÉ à 120° F. (48°,8 C.)	DIMINUTION de viscosité pour 100
Russe	0,913	1 400	166	88
Américaine	0,914	231	66	71
Russe	0,907	649	135	79
Américaine	0,907	171	58	66
Russe	0,898	173	56	67
Américaine	0,891	81	40	50
Colza raffiné (comme comparaison)	.....	321	112	75

(*Boverton Redwood.*)

Le point de fusion des paraffines du pétrole fabriquées aux États-Unis varie suivant leur degré de pureté.

On en distingue trois sortes principales :

Paraffine fondant à . . . . . { 51°,6 / 53°,3 / 56°,2

Les plus molles sont d'un blanc d'albâtre, opaques; les plus dures sont d'un blanc bleuâtre translucide.

CHAPITRE III.

APPLICATIONS INDUSTRIELLES AUTRES QUE L'ÉCLAIRAGE DIRECT ET LA FABRICATION DES HUILES DE LUBRIFICATION.

Dès la découverte du pétrole, on a fait des tentatives pour l'employer à des usages industriels, et notamment au chauffage.

Beaucoup sont restées à l'état d'essais ; mais plusieurs ont donné lieu à des applications importantes, pour le chauffage surtout, et, depuis ces dernières années, la consommation du pétrole pour la production de la chaleur est extrêmement forte (*).

(*) On sait que, d'après les recherches récentes de M. Mahler, les quantités de chaleur dégagées par la combustion de 1 kilogramme de charbon (houille) et d'huiles minérales sont, en moyenne, les suivantes :

Houille (abstraction faite des cendres et de l'eau)	8.500 calories.
Huile lourde de pétrole (russe ou américaine)	10.900 —
Essence, pétrole raffiné et pétrole brut d'Amérique	11.070 —

Cet accroissement est dû à la grande production des huiles de l'Ohio et les nombres suivants en donnent la mesure.

D'après le rapport de M. le Consul de France à Philadelphie (15 mai 1891), voici les quantités de pétrole employées comme combustible pour les quatre années suivantes :

1887	700.000 barils.
1888	2.600.000 —
1889	4.500.000 —
1890	5.500.000 —

D'après ce consul, le prix de revient du pétrole serait la moitié de celui du charbon ; nous discuterons ce dernier point.

Le « Petroleum review pour 1891 » s'exprime ainsi :

Il y a eu une augmentation phénoménale dans la vente du pétrole pour le chauffage.

Le mouvement a atteint :

En 1891	10.600.000	barils.
Au lieu de 1890	7.000.000	—
Au lieu de 1889	5.500.000	—

D'autre part, la « Standard Oil Company » nous a donné les renseignements suivants :

Vente de l'huile de Lima pour la production de la chaleur en 1891	4.994.625	barils.
Vente du résidu de l'huile de Lima	2.314.648	—
Constituant un total de	7.309.273	—
Consommé par le *Standard*	1.252.655	—
Délivré par d'autres	1.997.071	—

Les gazolines et les naphtes sont consommés industriellement pour le chauffage. La gazoline la plus volatile et la plus légère, vers 0,635 à 0,660 de densité, sert fréquemment par mélange de sa vapeur avec de l'air dans les différents modèles de machines à gaz, qui sont d'un usage considérable pour servir de moteurs quand on n'a besoin que de faibles forces, et d'une façon intermittente.

L'emploi de la gazoline et de l'essence pour l'éclairage extérieur est de beaucoup inférieur, comme quantité, à celui des mêmes produits pour le chauffage, soit particulier soit industriel. Ainsi dans la ville de New-York, où il fait très chaud pendant plusieurs mois, on remplace, dans les petits ménages, le chauffage au charbon par des appareils à gazolines, dont il y a une foule de modèles. Ils sont formés en substance d'un, deux, trois ou quatre becs genre Bunsen dans le pied desquels arrive de la gazoline qui est aspirée avec l'air extérieur; cette gazoline est dans un réservoir en métal, supérieur, et communique avec le brûleur par un tube muni de robinet.

Ces appareils sont très répandus; nous en avons vu fonctionner à New-York, Philadelphie, Washington, Chicago. A Pittsburg ils remplacent les fourneaux et foyers à gaz naturel qui diminuent en quantité par suite de la moindre abondance de ce gaz. Cet emploi de la gazoline et de l'essence est beaucoup plus dangereux que celui des lampes à éponges; il n'est pas à encourager dans notre pays.

A la raffinerie de Chicago, aux usines à fer de Chicago, nous avons vu les becs Bunsen des laboratoires alimentés par la gazoline.

Dans l'usine Devoë, dans celle de Whiting où l'on fabrique les caisses de fer-blanc destinées à contenir le pétrole raffiné, envoyé par la « Standard Company » dans les pays chauds, l'étamage et la soudure sont opérés

dans des foyers chauffés par la gazoline et l'air; la gazoline que nous avons vu employer pour la soudure était à la densité de 0,695.

Nous avons été visiter à Chicago le laboratoire d'un chimiste qui se sert de la gazoline à la densité de 0,686 pour produire du chauffage et un très bel éclairage qu'il dit revenir à un prix peu élevé; il a breveté son système.

Il dirige de l'air ordinaire sous pression, d'abord dans de la gazoline puis à travers du coton imprégné d'eau qui retient l'excès de gazoline.

Le mélange, qui brûle avec une flamme bleue, très chaude, est conduit sur un treillis contenant de la zircone.

Il se forme une lumière éblouissante qui, d'après l'inventeur, reviendrait à 3 cents par heure en produisant l'équivalent de 100 becs d'éclairage.

La dépense ne dépasse pas un demi-galon durant ce temps; le galon vaut 5 cents à Chicago.

L'essence lourde (Heavy naphta) qui reste en quantités considérables après la séparation des essences ordinaires, et qui est trop légère pour entrer dans un pétrole lampant de bonne qualité, joue un rôle considérable aux États-Unis dans la grande industrie.

Il est regrettable qu'on ne l'utilise pas en France comme aux États-Unis, parce que les huiles lampantes raffinées chez nous ne contiendraient pas ces produits trop légers qui, brûlant les premiers dans les lampes, y laissent les huiles plus lourdes dont la combustion laisse à désirer. En raison de l'introduction dans le pétrole lampant de ces hydrocarbures légers, on peut y faire entrer des huiles très lourdes pour que la densité du mélange soit voisine de 0,800 et obtenir à bon compte des produits de qualité médiocre.

Dans les usines de Pullmann on fabrique diverses pièces de fer et d'acier, comme les essieux, dans des fours

chauffés par de la vapeur de naphte à 0,725 entraînée par de l'air et de la vapeur d'eau.

On a vu qu'à la raffinerie de Bayonne et à l'usine Devoë les foyers de production de vapeur, de distillation de pétrole sont alimentés par un pareil mélange à l'exclusion du charbon. La vapeur de naphte arrive par de nombreuses ouvertures dans le fond des foyers qui contiennent des briques, lesquelles sont portées au rouge.

On se sert aussi des naphtes pour préparer un gaz d'éclairage par la méthode qu'on va résumer, mais ils ne suffisent plus et le gaz d'éclairage au pétrole est produit surtout par l'huile brute, l'huile lampante et les huiles lourdes.

Il a été pris un grand nombre de brevets pour la fabrication du gaz d'éclairage avec ces produits. Tous ces brevets ont un principe commun, à savoir : distiller le pétrole et ses dérivés à une température assez élevée pour en dissocier tous les éléments et les transformer en produits gazeux. L'huile servant à fabriquer le gaz est amenée dans une cornue préalablement chauffée au rouge. Le chauffage de la cornue, la distribution des liquides, l'épuration des gaz pour les débarrasser des pétroles non décomposés et des matières goudronneuses, diffèrent plus ou moins dans les divers brevets, mais le principe fondamental est le même. Ce procédé de fabrication de gaz d'éclairage est très employé dans les grandes fabriques, dans les villages et dans les petites villes. Il convient tout spécialement à ce genre d'éclairage à cause de la simplicité relative de l'appareil, de la facilité de la fabrication et de la pureté du produit.

Le gaz de pétrole se fait remarquer par l'absence presque complète des composés ammoniacaux qui souillent les gaz de houille.

On a proposé à Boston de fabriquer du gaz d'éclairage en injectant de la vapeur d'eau surchauffée dans une

chaudière remplie de l'huile à décomposer. Ce système donne un bon produit, mais il laisse une plus grande quantité de matière indécomposée et il est plus dispendieux.

A côté de ces procédés, il convient de placer celui qui consiste à faire passer des huiles lourdes et de la paraffine brute sur du coke chauffé au rouge : nous avons donné plus haut (p. 106) une analyse du gaz ainsi obtenu.

Ce système n'a pas donné de résultats pratiques.

Le naphte lourd, l'huile de pétrole brut, les huiles lourdes sont utilisées en immenses quantités comme agents carburateurs pour donner du pouvoir éclairant au gaz dit *à l'eau*.

La matière généralement employée au début a été le naphte, et c'était alors économique parce que les sociétés de raffinage n'avaient pas encore développé les débouchés pour la production de naphte.

Elles ont dernièrement trouvé de grands marchés pour cette matière et cela a tellement élevé le prix pour les compagnies de gaz, qu'elles ont modifié leurs procédés de telle sorte qu'elles peuvent se servir soit d'huile brute, soit même de résidus plus lourds.

D'après une note manuscrite que nous a adressée le professeur Sadtler (de Philadelphie), il faut, dans les meilleurs appareils, 3 à 4 gallons d'huile brute pour saturer 1.000 pieds cubes de gaz, soit $28^{mc},135$. Dans plusieurs on consomme, sans effets avantageux, 6 gallons et plus.

Il ajoute, d'après le superintendant de la *United Gaz improvement Company*, que sur la quantité totale de gaz d'éclairage préparé aux États-Unis, 60 p. 100 au moins représentent du gaz à l'eau enrichi par du pétrole et ses produits.

Les deux principaux appareils employés sont ceux de Lowe et surtout d'Humphrey.

L'appareil Humphrey se compose d'un double jeu de générateurs communiquant entre eux, par leur partie inférieure, au moyen de canalisations en briques réfractaires semblables à celles qui relient les générateurs aux carburateurs et les carburateurs aux surchauffeurs.

On donne le vent, en même temps, aux deux générateurs, sous leur grille.

On introduit la vapeur par le sommet du surchauffeur (disons celui de droite); elle descend, gagne le carburateur, le remonte et atteint alors, complètement surchauffée, le sommet du générateur de droite où elle arrive dans les meilleures conditions pour sa décomposition complète. La vapeur descend ensuite dans le générateur de gauche. L'huile est introduite par le sommet du carburateur de gauche au moyen de quatre tuyaux. En y arrivant, la vapeur et l'huile, comme dans la plupart des autres appareils, se trouvent enveloppées par de la vapeur d'eau surchauffée, et l'huile est presque complètement vaporisée avant d'arriver au fond du surchauffeur; après avoir remonté le dernier récipient, elle est entièrement gazéifiée.

Pour l'opération suivante en tant qu'il s'agit de la fabrication du gaz, cette marche est renversée : on introduit la vapeur par le surchauffeur de gauche et l'huile par le carburateur de droite. Les briques qui remplissent le carburateur sont aménagées de façon à réserver au-dessous de chaque orifice d'amenée des huiles, un espace libre descendant jusqu'au fond de l'appareil, par lequel, pendant que la chaleur s'échappant des briques volatilise les huiles, les impuretés que celles-ci contiennent (surtout s'il s'agit de pétroles bruts) tombent au fond du récipient, d'où on les enlève à volonté.

Avec une production d'une importance suffisante, on fabriquera des gaz d'eau d'une puissance de 24 à 26 bougies avec moins de 50 livres (26,6 kilogrammes) de houille

ou de coke, y compris le combustible nécessaire aux besoins généraux de l'usine dans des conditions ordinaires.

Ce chiffre est une moyenne, établie sur le rendement net d'une année. La quantité de pétrole (disons d'huile de Lima brute) établie sur les mêmes bases ne s'élèverait pas à 4 gallons 75 (18 litres) par *mille* pieds cubes ($28^{mc},135$).

La main-d'œuvre serait de 4 à 6 cents (21 à 31 centimes) par *mille*, en calculant les salaires journaliers comme il suit : contremaître, $12^{f},95$ à $15^{f},54$; gaziers, $10^{f},36$ à $11^{f},65$; chauffeurs, $11^{f},07$ à $10^{f},36$; manœuvres et aides, $7^{f},77$ à $11^{f},07$.

Les autres frais, fournitures, réparations, assurance, salaire du surveillant, etc., doivent différer bien peu des frais du même genre qu'entraîne la fabrication du gaz de houille.

L'huile brute et l'huile lourde de pétrole sont plus employées aussi que le naphte lourd au chauffage des bouilleurs et des foyers dans les usines.

L'huile brute de pétrole a été employée comme combustible dans différents appareils, mais seulement à titre d'essai, jusqu'à la découverte de l'huile brute de Lima qui, considérée comme impossible à rectifier à cause des produits sulfurés qu'elle contient, était offerte en grande quantité et à un bon marché excessif pour servir de combustible.

Parmi les expériences de début, il y a lieu de mentionner le procédé Eames pour la fusion du fer, expérimenté il y a quelques années à Titusville. Depuis l'application du gaz naturel au chauffage, on y a renoncé.

La compagnie des chemins de fer de Pensylvanie a essayé pendant quelque temps sur son réseau une locomotive dans laquelle on brûlait, comme combustible, de l'huile de pétrole, suivant la méthode adoptée dans les

chemins de fer russes, et le chimiste Br. C.-B. Dudley, se rendit en Russie pour examiner la question.

La conclusion de cette enquête et des essais a été qu'il n'y avait pas lieu de donner suite à l'emploi du pétrole pour les locomotives par suite de la grande quantité d'huile à charger sur le tender et de la difficulté de l'arrimage de l'huile à introduire dans le foyer.

L'administration de la marine des États-Unis a fait de son côté des essais dans les chantiers de New-York et de Boston pour déterminer s'il y avait lieu de remplacer le charbon par le pétrole dans la navigation. Le résultat de ces travaux a été que, tant au point de vue de la facilité de maniement que du confort, de la santé des chauffeurs et de la sécurité des passagers, il fallait s'opposer à l'emploi du pétrole pour la navigation en général et plus spécialement pour celle des bateaux de passagers.

On sera frappé de ce fait que, dans le sud de la Russie, les locomotives, les machines des bateaux sont alimentées au pétrole, et on s'expliquera cette opposition en pensant qu'en Amérique le charbon est à très bas prix tandis que sur les bords de la mer Caspienne il fait absolument défaut.

Lorsque les grands débits d'huile de Lima ont commencé, on a construit un pipe-line allant des gisements d'huile de l'Ohio à Chicago et on se mit à employer cette huile en grande quantité dans les fabriques et usines métallurgiques de cette ville.

On en a expédié aussi dans l'est par wagons-citernes et elle a été employée simultanément dans la Pensylvanie orientale et dans la Nouvelle-Angleterre.

On peut citer les fabriques de cuivre de Waterbury où l'on s'en sert sur une grande échelle pour chauffer les fours à moufle.

On l'emploie pour l'alimentation des foyers dans les

moulins de Pottstown, les forges de la « Pensylvania Steel Company » à Steestown, et dans plusieurs industries à Philadelphie.

Il donne de bons résultats pour les fours à chaux, à briques, etc., pour cuire la porcelaine, etc.

A Pittsburg on dispose encore de quantités assez fortes de gaz naturel pour alimenter les verreries, les usines à fer et l'industrie métallurgique en général; au fur et à mesure qu'il diminue, le chauffage au pétrole prend sa place.

En résumé, dans la Pensylvanie, l'Ohio, l'Illinois, l'Indiana, le pétrole brut de Lima fait une concurrence souvent victorieuse au charbon de terre, bien que l'anthracite de Pensylvanie se vende 3 dollars un quart la tonne, le charbon gras de l'Illinois de 1,65 à 1,85 la tonne, et celui de l'Indiana de 1,51 à 2,35 la tonne.

Par conséquent, on peut dire que, sauf la navigation et la marche des chemins de fer, l'emploi du pétrole pour la production de la vapeur, pour le chauffage des fours ordinaires et des foyers à températures très élevées ne rencontre aucune difficulté pratique sérieuse, et que la question de prix est presque seule à considérer. Il est juste d'ajouter, cependant, que le pétrole offre de très grands avantages sur la houille et le coke. La flamme s'étale dans le foyer d'une manière uniforme, il n'y a pas d'encrassement par le mâchefer, la cendre; les gaz brûlés ne sont pas chargés de suie.

Nous avons vu fonctionner trois installations à l'huile brute et à l'huile lourde (residuum) de Lima; le procédé est le même. L'une est l'immense raffinerie de Chicago, dont on a décrit le travail dans la deuxième partie de ce mémoire. Une seconde est l'usine à fonte, fer et acier de South Chicago « Rolling mills » dont le directeur est M. Sterling, président de « l'Illinois Steel Company ».

La troisième est l'usine qui donne la force motrice à

la compagnie principale des tramways funiculaires de Chicago.

A la raffinerie de Chicago les chaudières à vapeur, les stills étaient chauffés à l'huile lourde lors de notre visite. Le système est le même qu'avec l'huile brute, si ce n'est qu'on échauffe l'huile lourde pendant les grands froids en entourant les réservoirs par une enveloppe close dans laquelle circule de la vapeur, ou en y faisant passer de la vapeur d'eau à travers des serpentins.

Aux forges de South Chicago « Rolling mills » on faisait usage d'huile lourde qui arrive par pipe-line de la raffinerie de Whiting; elle est échauffée par de la vapeur circulant dans des serpentins intérieurs.

A l'usine des tramways, on consommait de l'huile brute, et le directeur nous a déclaré qu'il était résulté une forte économie de la substitution du pétrole au charbon.

L'huile brute est à 0,835 de densité et l'huile lourde à 0,890. Elles s'équivalent sensiblement, comme valeur, pour l'emploi; d'ailleurs la « Standard company » ayant à peu près le monopole pour l'huile de Lima règle le marché.

Il y a quelques années l'huile de Lima valait 10 et 15 cents le baril sur le lieu de production parce qu'on ne savait pas en retirer l'essence et l'huile pour éclairage; le magasinage et le transport portaient sa valeur à 35 et 40 cents à Chicago. Aujourd'hui que le pétrole de Lima fournit des produits lampants, son prix s'est élevé à 60 cents rendu à Chicago.

Le residuum était inférieur comme prix, il y a quinze mois, à celui de l'huile brute; aujourd'hui leur valeur est égale, 60 cents environ le baril. A prix égal, le residuum est préféré, on admet que la chaleur est environ proportionnelle à la densité.

D'après le directeur de la raffinerie de Chicago, l'huile

de pétrole à 60 cents permet de réaliser une économie de 15 p. 100 sur le charbon de l'Indiana et de l'Illinois dont on a donné les prix ci-dessus.

D'après le directeur des forges de l'Illinois, il n'y aurait pas un avantage très sensible à employer l'huile brute ou le residuum de pétrole au lieu de charbon, mais on y gagne, au point de vue du travail, par l'absence de fumée et la suppression du transport de charbon qui encombre et salit les ateliers. Sur demande plus précise de notre part, il reconnaît une économie sérieuse dans la main-d'œuvre et même il nous déclare que le chauffage des chaudières, qui exige quarante-quatre hommes avec le charbon, s'effectue par huit hommes avec le pétrole. Enfin il ajoute qu'on peut considérer que trois barils d'huile sont l'équivalent de 1 tonne de bon charbon.

S'il en est ainsi, il y aurait, aux divers points de vue, un grand avantage à substituer le pétrole de Lima à la houille aux États-Unis.

Les forges de South Chicago sont très importantes : il y a huit fourneaux à huit tuyères, de 280 tonnes par 24 heures; trois appareils Bessemer de 12 tonnes. On y fabrique 2.000 tonnes de rails par 24 heures; le minerai est l'hématite rouge du Lac supérieur et de la limonite.

On consomme 2.000 barils de pétrole par jour. Le baril d'huile brute pèse $288^{liv},54$ en moyenne, celui du residuum $312^{liv},06$ en moyenne.

Le pétrole sert à la production de la vapeur, aux fontes, au réchauffage des blocs de fer et d'acier.

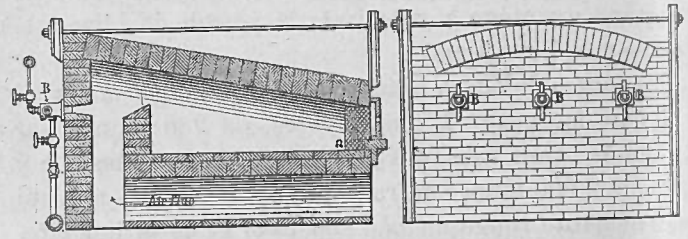
L'air et l'huile naturelle ou lourde sont introduits dans les foyers à température élevée, forges, verreries, etc., par un bec Bunsen de très grande puissance, dont la flamme est projetée dans la cavité de ces foyers. Une méthode préférable consiste à faire arriver la flamme du bec Bunsen par le fond d'une grille mobile recouverte de fragments de briques réfractaires qui, sous l'action du

feu, sont portées au rouge vif et donnent autant de chaleur que l'anthracite en combustion.

Dans ces derniers temps une société, « Empire hydrocarbon Company », a proposé au système précédent une variante qui semble devoir donner de bons résultats. L'emploi d'un bec unique laisse souvent à désirer parce que le four n'est pas chauffé uniformément; s'agit-il, par exemple, de chauffer des pièces à laminer, il arrive que les diverses parties passent au laminoir à des températures variables : ce qui produit des défectuosités dans le travail.

Le bec unique de très fort débit est remplacé par trois brûleurs analogues, de petit calibre (*babys*).

Ils sont fixés à chaque four de la façon indiquée au croquis ci-dessous :



Chacun fonctionne indépendamment et au moment où on le désire.

Le chauffeur de nuit prépare le four avec le brûleur central grand ouvert, lequel, étant d'une puissance modérée, est plus économique qu'un grand brûleur baissé avec une flamme lente.

Les chauffeurs chargent le four et ouvrent les deux autres brûleurs qu'ils règlent suivant la température du four en chauffant également au fond, au centre et aux portes, et abaissant toutes les portions qui s'échauffent trop par l'extinction du brûleur qui porte sur ce point.

Lorsque la charge est chauffée et qu'on désire soit tremper, soit découvrir le chargement parce qu'on n'est pas près à laminer, le petit brûleur central seul maintient le tout à la température voulue avec la consommation de combustible la plus petite possible.

Ces nouveaux brûleurs sont construits de telle façon que chaque particule d'huile est vaporisée avec la plus petite quantité possible de vapeur, diminuant ainsi les pertes de température du four.

Le dispositif ordinaire de chauffage des bouilleurs pour la production de la vapeur dans les usines, et des stills de distillation dans les raffineries de pétrole, consiste en une aspiration de l'huile brute ou du residuum au moyen de vapeur d'eau qui est lancée dans le dessus de la porte du foyer, de telle sorte qu'on puisse enlever ce petit appareil au besoin et chauffer le foyer au charbon.

Il est rationnel de penser que le mélange de l'air avec les vapeurs d'huile et d'eau n'est pas très régulièrement opéré par ce moyen. Une société « International gas and Fuel Company » a modifié le dispositif précédent dans le sens que nous allons indiquer (système Wright).

L'huile tombe en quantité réglée dans une petite cavité antérieure au foyer, et sa vapeur y rencontre un jet d'air et un jet de vapeur dont l'aspiration est elle-même réglée. Le mélange ternaire pénètre dans le foyer à l'état d'union très intime.

Nous avons vu fonctionner ce système industriellement à l'usine des tramways de Chicago. D'après le directeur, avec cette modification, 70 barils d'huile, au lieu de 90, équivalent à 28 tonnes de charbon. D'autre part le directeur de la raffinerie de Whiting nous a répété

que d'après des essais tout récents, surveillés avec soin, une livre d'huile brute produit l'effet utile de deux livres de bon charbon.

Il existe un grand nombre d'autres pulvérisateurs-vaporisateurs, *Singers*, *Gray*, *Butler*, *Humes*, *Priestman*.

Les moteurs à pétrole employés sont nombreux : *Priestman*, *Crosly*, *Weyman*, *Robey*, *Brayton*, *Richards*.

Nous signalerons enfin une dernière application industrielle du pétrole de Lima, beaucoup moins importante que le chauffage. Le residuum de l'huile de Lima est employé à Chicago et à Pittsburg en grandes quantités pour le pavage en bois ; on le mêle soit avec de l'asphalte de la Trinidad, soit avec des goudrons de houille.

BULLETIN

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BELGIQUE EN 1892.

I. — Charbonnages.

1° *Exploitation.* — La production houillère de la Belgique a été, en 1892, de 19.583.173 tonnes, représentant une valeur de 201.288.000 francs. Ces résultats sont, comme ceux de 1891 (*), inférieur à ceux de 1890. Comparés à ceux de 1891, ils accusent une diminution de 92.471 tonnes sur le poids et de 46.166.000 fr. sur la valeur.

La production de 1892, se répartit comme suit entre les districts houillers :

	Tonnes.	Francs.
Hainaut	14.253.750	145.303.000
Namur	537.919	4.359.000
Liège	4.791.504	51.626.000
	19.583.173	201.288.000

L'effectif du personnel ouvrier a également subi une diminution de 1891 à 1892 : cette diminution, représentée par le chiffre de 405 personnes, porte sur le nombre des femmes employées. Ce résultat provient de l'application de la loi du 13 décembre 1889 sur le travail des femmes, des adolescents et des enfants : la loi de 1889, en interdisant aux femmes et aux filles les travaux souterrains, a réduit de 796 le nombre des ouvrières employées au fond et a accru de 354 celui des ouvrières occupées à la surface.

Cet effectif, relatif à l'année 1892, se répartit comme suit :

(*) Voir *Annales des mines*, 9e série, t. III, Bulletin, p. 148.

		OUVRIERS à l'intérieur	OUVRIERS à la surface
Hommes et garçons	au-dessus de 16 ans.	78.955	19.736
	de 14 à 16 ans.	5.251	1.550
	de 12 à 14 ans.	1.705	951
Femmes et filles	au-dessus de 21 ans.	719	1.672
	de 16 à 21 ans	1.957	3.424
	de 14 à 16 ans	219	»
	de 12 à 16 ans	»	2.439
		88.806	29.772
		118.578	

La production par ouvrier du fond n'a été que de 221 tonnes, soit 3 tonnes seulement de plus qu'en 1891.

La production par ouvrier du fond et de la surface réunis, a été de 165 tonnes comme en 1891.

Les salaires totaux distribués au personnel, s'élèvent à 113.509.000 francs, ce qui donne, pour le salaire annuel moyen, la valeur de 957 francs, inférieure de 129 francs au chiffre correspondant relatif à l'année 1891. En conservant les désignations définies dans l'analyse de la statistique de 1891 (*), on obtient le tableau suivant :

DISTRICTS HOUILLERS	SALAIRE brut annuel de l'ouvrier au charbon	SALAIRE brut annuel de l'ouvrier mineur en général	RETENUES	SALAIRE net annuel de l'ouvrier mineur en général
	francs	francs	francs	francs
Hainaut. Couchant de Mons. . .	1.001	852	16	836
Hainaut. Centre et partie occidentale de Charleroi	1.410	1 031	26	1.005
Hainaut. Charleroi	1.232	962	23	939
Namur	1.100	880	5	875
Liège	1.265	1.005	8	997
Ensemble.	1.207	957	17	940

Le nombre des journées de travail effectuées n'a pu être fourni dans la statistique belge de 1892 que sous les réserves :

(*) Voir *Annales des mines*, 9e série, t. III, Bulletin, p. 149.

formulées dans celle de 1891. On a admis le chiffre de 292 et on en a déduit les chiffres suivants :

Salaire journalier moyen des ouvriers du fond.	3f,56
Salaire journalier moyen des ouvriers de la surface.	2f,40
Salaire journalier moyen des ouvriers du fond et de la surface réunis . . .	3f,28

2° *Mouvement commercial des combustibles.* — Le mouvement commercial des combustibles en Belgique, durant l'année 1892, est défini par les chiffres suivants :

Production.			19.583.173
Importation.	Houille.	1.486 212	
	Briquettes.	5.512	1.749.248
	Coke.	191.054	
Exportation.	Houille.	4.539.485	
	Briquettes.	351.570	6.204.224
	Coke.	991.028	
Consommation.			15.128.189

Observation relative aux salaires. — Le salaire annuel moyen de l'ouvrier (fond et surface réunis) a diminué de 12 p. 100, de l'année 1891 à l'année 1892 : cette diminution a porté principalement sur les salaires élevés du fond.

La valeur commerciale du produit a, d'autre part, éprouvé une diminution de 19 p. 100, de 1891 à 1892.

Enfin, le bénéfice général de l'exploitation a subi une diminution de 67 p. 100, dans le même intervalle de temps.

M. Harzé en conclut que si, dans les périodes de prospérité, le salaire ne croît proportionnellement ni au prix de vente ni au bénéfice, le phénomène inverse ne se produit pas dans les époques de crise.

II. — Mines métalliques et minières.

La production des mines métalliques et des minières de la Belgique, en 1892, est définie par les chiffres suivants :

	Tonnes.		Francs.
Minerais de fer.	209.943	valant	1.093.100
Minerais de plomb.	60		8.200
Minerais de zinc.	12.260		981.600
Pyrite.	2.570		27.400
Minerais de manganèse.	16.775		208.300
Représentant une valeur totale de.			2.318.600

Cette valeur est inférieure de 189.300 francs à celle de l'année précédente.

Le personnel se répartit comme suit :

Ouvriers à l'intérieur	958
Ouvriers à la surface	489
	1.447

Le personnel du fond ne comprend ni filles ni femmes, et seulement trois jeunes ouvriers au-dessous de seize ans.

III. — Carrières.

Le tableau ci-dessous renferme, pour l'année 1892, les quantités et les valeurs des produits extraits des carrières belges :

	QUANTITÉS.	VALEURS. francs.
Pierre de taille	139.014 m. cubes.	10.628.000
Chaux, moellons et pierrailles	2.363.678 m. cubes.	9.276.000
Pierres à paver	88.048.700 pièces.	7.489.000
Dalles et carreaux	105.793 m. carrés.	337.000
Marbre	11.750 m. cubes.	2.277.000
Ardoises	33 903.500 pièces.	1.091.000
	415 m. cubes.	31.000
Pierres à faux et à rasoir	153.000 pièces.	190.000
Meules en grès et grès réfractaire	17.100 m. cubes.	7.000
Castine	140.800 m. cubes.	279.000
Dolomie	3.100 m. cubes.	9.000
Terre à porcelaine	730 m. cubes.	8.000
Terre plastique	276.855 tonnes.	1.709.000
Marne et craie	32.610 m. cubes.	133.000
Sable	383.545 m. cubes.	818.000
Silex pour faïencerie	38.370 m. cubes.	244.000
Silex pour empierrement	18.100 m. cubes.	52.000
Sulfate de baryte	42.000 tonnes.	84.000
Phosphate de chaux	268.210 m. cubes.	3.780.000
Représentant une valeur totale de		38.442.000

Ce tableau ne comprend pas les argiles tertiaires fournies par les deux Flandres et par la province d'Anvers.

La production de 1892, supérieure en valeur de 624.000 francs à celle de 1891, présente par rapport à cette dernière une augmentation pour les pierres de taille, les ardoises, les terres plastiques réfractaires et une diminution pour d'autres matières, telles que le phosphate de chaux.

Cette production a été fournie par 1.631 carrières, comprenant dans leur ensemble 1.281 sièges à ciel ouvert et 481 souterrains, et occupant 25.012 ouvriers.

Les ouvrières ont complètement disparu des travaux souterrains, par application de la loi du 13 décembre 1889.

IV. — Métallurgie.

Les usines métallurgiques sont réparties en cinq groupes :

1° Hauts fourneaux.

Nombre d'usines (actives)	18
Nombre de hauts fourneaux (actifs)	27
Nombre d'ouvriers	2.726
Production en fonte	733 268 tonnes.
Valeur de la production	38.716.000 francs.

2° Usines à fer.

Nombre d'usines (actives)	63
Nombre de fours à puddler (actifs)	444
Id. à réchauffer (id.)	206
Id. autres (id.)	206
Nombre d'ouvriers	15.453
Production en fer	479.008 tonnes.
Valeur de la production	64.879.000 francs.

3° Aciéries.

Nombre d'usines (actives)	9
Nombre de fours Martin (actifs)	5
Nombre des convertisseurs (id.)	11
Nombre de fours à réchauffer (id.)	43
Nombre d'ouvriers	3.130
Production en acier	208.281 tonnes.
Valeur de la production	27.601.000 francs.

4° Usines à zinc.

Nombre d'usines	11
Nombre de fours (actifs)	339
Nombre d'ouvriers	4.088
Production en zinc brut	91.546 tonnes.
Valeur de la production	46.568.000 francs.

5° Usines à plomb et argent.

Nombre d'usines (actives)		3
Nombre de fours à manche (actifs)		15
Nombre de fours à réverbère (id.)		3
Nombre de fours de coupelle (id.)		4
Nombre d'ouvriers		510
Production	Plomb brut	10.146 tonnes.
	Argent	30.267 kilogr.
Valeur de la production	Plomb brut	2.690.000 francs.
	Argent	4.380.000 francs.

V. — Accidents.

Les accidents survenus dans le courant de l'année 1892 se répartissent comme suit :

	CHARBONNAGES	MINES métalliques et minières	CARRIÈRES	USINES	TOTAL
Nombre d'accidents	209	4	8	15	236
Morts	337	3	5	11	356
Blessés grièvement	79	1	3	5	88

Le grand nombre des accidents afférents aux charbonnages, en 1892, est dû à la catastrophe d'Anderlues, qui a fait 169 victimes dont 160 morts, et à celle de l'Agrappe, déterminée par un violent dégagement instantané de grisou sans inflammation, qui a causé l'asphyxie de 25 ouvriers.

Le nombre des ouvriers occupés dans les charbonnages ayant été de 118.578, la proportion des ouvriers tués s'est élevée à 2,84 par 1000 ouvriers, tandis qu'elle n'avait été que de 1,40 en 1891.

La classification par *causes* des accidents survenus dans les houillères, est contenue dans le tableau suivant :

				NOMBRE des Accidents	Tués	Blessés
I. — *Intérieur des travaux.*						
Accidents survenus dans les puits et les descenderies conduisant aux travaux souterrains	à l'occasion du transport des ouvriers	par câbles, cages, etc.		16	16	4
		par échelles		4	4	0
		par fahrkunst		0	0	0
	par éboulements, chutes de pierres et corps durs			8	9	0
	dans d'autres circonstances			6	6	0
Accidents survenus dans les puits intérieurs et cheminées d'exploitation	par l'emploi	des câbles		0	0	0
		des échelles		0	0	0
	dans d'autres circonstances			7	7	0
Éboulements (y compris chutes de pierres et blocs de houille, etc.) dans les chantiers et les voies				74	55	23
Accidents causés par le grisou	Dégagement normal	Inflammations dues	aux coups de mines	2	2	1
			aux appareils d'éclairage	Ouvertures de lampes	0	0	0
				Défectuosités, bris, etc.	0	0	0
			à des causes diverses ou inconnues		1	160	9
		Asphyxies			3	4	0
	Irruptions subites suivies	d'inflammation			0	0	0
		d'asphyxies, de projections de charbon ou de pierres, etc.			3	28	0
Asphyxie par d'autres gaz que le grisou					0	0	0
Coups d'eau					0	0	0
Emploi des explosifs	Tirage des mines				11	4	10
	Autres causes				3	1	2
Transport et circulation des ouvriers	sur voies de niveau ou peu inclinées				21	9	12
	sur voies inclinées où le transport s'effectue par	hommes et chevaux			2	2	0
		treuils ou poulies			31	20	11
		traction mécanique			0	0	0
Causes diverses					10	5	5
Total					202	332	77
II. — *Surface.*							
Chutes dans les puits					1	1	0
Manœuvres de véhicules					1	1	0
Machines et appareils mécaniques					4	2	2
Causes diverses					1	1	0
Total					7	5	2
Total général					209	337	79

(*Extrait par* M. Bellom, *ingénieur des mines, de la* Statistique des Mines, minières, carrières, usines métallurgiques et appareils à vapeur, pour l'année 1892, *par* M. E. Harzé.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA HONGRIE EN 1892.

L'industrie minière s'est exercée en Hongrie pendant l'année 1892 dans 602 mines appartenant à l'État et représentant une superficie totale de 8.278 hectares et dans 20.874 mines concédées à 1.293 particuliers et ayant une étendue de 56.628 hectares, soit une augmentation de 1.246 hectares sur l'exercice 1891. Le nombre des ouvriers mineurs s'est élevé de 53.183 en 1891, à 54.573 en 1892. Il y a eu 459 accidents, soit 55 de moins que l'année précédente.

La production a représenté une valeur de 32.233.864 florins, contre 31.172.773 florins en 1891.

Voici l'énumération des principaux produits qui composent ce total :

	POIDS	VALEUR par unité	VALEUR totale
	kilog.	florins.	florins.
Or	2.246,772	1.395	3.134.437
Argent	18.423,815	90	1.658.143
	tonnes.		
Cuivre	317	520	165.215
Plomb	2.335	176,6	412.558
Lignite	2.741.391	2,95	8.085.417
Houille	1.052.214	4,91	5.174.772
Briquettes	34.882	6,67	232.663
Coke	2.129	8,9	18.951
Fer brut	296.752	36,1	10.706.024
Fonte	12.742	77,3	984.928
Minerai de fer	274.731	2,69	739.831

(*Extrait d'un* Rapport *adressé* à M. le Ministre des affaires étrangères, *par* M. DELABARRE, *consul général de France à Buda-Pesth.*)

Le Gérant : V° DUNOD. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

LES EAUX MINÉRALES DE PFÆFERS-RAGATZ

(CANTON DE SAINT-GALL, SUISSE)

Par M. DE LAUNAY, Ingénieur des mines, Professeur à l'École nationale supérieure des mines.

Ayant eu l'occasion d'étudier les sources minérales de Pfæfers et les divers mémoires qui leur ont été consacrés (*), nous avons pensé qu'une courte monographie de ces eaux étrangères et la description de leur système de captage pourrait donner matière à quelques comparaisons utiles avec nos eaux françaises. Il est, en effet, peu d'exemples plus nets d'eaux thermales résultant incontestablement de la remontée artésienne d'infiltrations superficielles. La région où se trouvent ces sources présente, d'ailleurs, un grand intérêt géologique (double pli de Glaris, ancienne vallée du Rhin), bien mis en lumière par les beaux travaux de M. Heim, auxquels nous aurons à emprunter la description générale de la contrée. Enfin, au point de vue historique, nous possédons, sur Pfæfers, depuis le XVI^e^ siècle, toute une série de descriptions qui nous renseignent, d'une façon parfois fort piquante, sur l'usage anciennement fait des eaux

(*) Voir, page 171, une bibliographie. Nous devons la communication de tous les anciens ouvrages sur Pfæfers-Ragatz qui nous ont permis d'écrire la partie historique de ce mémoire, à l'amabilité du D^r^ Jæger, médecin des eaux.

thermales et l'origine qu'on leur attribuait. Nous examinerons successivement : I. Historique ; II. Géologie de la région ; III. Description des sources ; IV. Captage.

I. — HISTORIQUE.

La source thermale de Pfæfers est située dans le canton de Saint-Gall, presque à la frontière de la Suisse et de la principauté de Liechtenstein, dans le lit de la Tamina, torrent qui, quatre kilomètres plus bas, se jette dans le Rhin à Ragatz (21 kilomètres en aval de Coire).

La Tamina (sur les anciennes cartes, Caminus) prend sa source au pied du Sardona et coule, de l'ouest à l'est, jusqu'à Vättis, où elle reçoit un affluent, le Görbsbach, puis se coude dans le prolongement de celui-ci (c'est-à-dire N.-S), et, au pied du village de Valens, s'engage dans une gorge profondément encaissée de 6 à 10 mètres de large et 200 mètres de profondeur (dont les derniers 80 mètres absolument verticaux) sur 300 mètres environ de long. C'est presqu'à l'entrée amont de cette gorge, aujourd'hui célèbre comme la plus sauvagement pittoresque de Suisse, au fond de cet étroit couloir abrupt, sur le bord du torrent, que suinte la source thermale. A la sortie aval de la gorge, on trouve l'établissement actuel des bains de Pfæfers, construit en 1704, et le ravin, un peu plus large mais toujours très encaissé, se prolonge jusqu'à Ragatz, où, depuis 1839, l'on amène les eaux dans des établissements plus importants (*).

La découverte des sources remonte à 1038. C'est en cette année qu'un des chasseurs du couvent voisin de Pfæfers, Karl de Hohenbacken, aperçut, en poursuivant des oiseaux, sur le bord du gouffre, la fumée qui en montait. Mais ce n'est qu'en 1240 qu'elles furent retrouvées par deux autres chasseurs, Bils et Thouli de Vilters (dont les familles reçurent, en conséquence, le privilège perpétuel de s'y baigner gratuitement) et que le prince abbé de Pfæfers, Hugo II de Villingen, eut l'idée de les utiliser.

(*) Voir la carte d'ensemble, page 150 et la carte géologique, Pl. III, *fig.* 2.

A cette époque, il n'y avait d'autre moyen d'accéder aux sources que de se faire descendre, sur 80 mètres de haut, au moyen de cordes enroulées sur des treuils et d'échelles suspendues ; généralement, on enveloppait les malades dans une couverture accrochée à la corde et, quand ils étaient trop sujets au vertige, on leur bandait les yeux. Une fois en bas, ils trouvaient de simples piscines creusées sur la source même, dans le rocher, et couvertes d'un toit ; et, pour éviter de renouveler trop souvent cette périlleuse descente, ils restaient plusieurs jours consécutifs dans le bain.

Cet état de choses fut un peu amélioré en 1382, par Jean de Mendelbüren, qui construisit, toujours à la source même, en travers du lit du torrent, une maison de bois, soutenue au-dessus du vide par des solives encastrées dans le rocher. On continuait à s'y faire descendre dans une couverture ou un fauteuil suspendu à une corde et l'on entrait dans cette étrange demeure, sombre même en plein midi, par une ouverture pratiquée dans le toit ; mais, du moins, on disposait d'un logement dans les intervalles des bains. Quoique beaucoup de malades, d'après un auteur ancien, eussent si peur en apercevant ce mode de transport, qu'ils repartaient immédiatement chez eux sans prendre les eaux, les baigneurs commencèrent à affluer et l'on cite, parmi eux, en 1523, le célèbre réformateur Ulrich von Hutten (*) qui, d'ailleurs, paraît-il, prit les eaux sans aucun succès, ayant eu un temps pluvieux pendant toute la durée de son séjour.

(*) *Ulrich von Hutten*, par D.-F. Strauss, t. II, p. 309-310.

En 1535, l'abbé Jacques réalisa un nouveau progrès en faisant placer, sur la rive droite de la Tamina, un escalier en bois de 230 mètres de long, qui permettait d'éviter la descente par le treuil (quoique celle-ci fût encore pratiquée pour les impotents, auxquels l'escalier semblait trop ardu). On pouvait alors arriver à la source en partant, soit du village de Valens, sur les hauteurs de la rive gauche, soit de celui de Pfæfers sur la rive droite; des deux côtés, on trouvait un sentier praticable pour les piétons, avec un pont sur la Tamina, la Tobelbrücke, qui les reliait. Pour célébrer ce nouvel état de choses, l'abbé Jacques fit écrire, en 1535, par Philippus-Aureolus-Theophrastus-Bombastus-Paracelsus von Hohenheim [que nous appelons plus simplement Paracelse (*)], une première description des eaux, sorte de Guide des touristes, qui eut rapidement neuf éditions successives. On trouve déjà, dans cet ouvrage, des idées justes sur la composition chimique des eaux de Pfæfers : Paracelse avait, en effet, remarqué qu'en distillant l'eau de Pfæfers, on obtient un résidu presque nul, et en avait conclu que cette eau était absolument pure, sans soufre, ni aucun autre minéral.

A la fin du XVI^e^ siècle, les guerres détournèrent l'attention des eaux; mais, dès le commencement du XVII^e^ siècle, nous voyons qu'on leur consacre un poème en vers latins (**) immédiatement traduit en vers français (1613), puis en allemand (1739) :

> Est locus in Rhætis vasto mirabilis antro,
> Antrum muscosis introrsum rupibus horret...

L'affluence des baigneurs était telle que, de 1535 à 1785, on ne connaît pas moins de 39 descriptions dis-

(*) Paracelse n'est, dit-on, que la traduction de Hohenheim (Παρά, heim; celsus, hoch). Paracelse était né à Einsiedeln, en Suisse.

(**) Ce poème est de Charles Paschal (ambassadeur de Henri IV dans les Grisons) et intitulé : In Fabarice Thermas.

tinctes des eaux, écrites à leur usage. Mais aucun événement capital ne s'y passa jusqu'en 1630, époque où l'on se décida à transporter les eaux et l'établissement hors de cette gorge si difficilement accessible, au point où se trouve encore aujourd'hui l'établissement de Pfæfers.

On fut amené à cette résolution par une série de malheurs successifs. Des deux maisons de bois construites auprès des sources, la supérieure fut complètement détruite en 1625, par la chute d'une énorme pierre ; l'inférieure fut réduite en cendres par un incendie, le 3 décembre 1629. L'hiver précédent, en 1628, le maître baigneur Johann Risch, profitant des basses eaux de décembre, était parvenu, non sans danger, à descendre la gorge jusqu'à sa sortie, dans le lit même de la Tamina, et avait constaté qu'on arrivait ainsi à un endroit découvert, propre à la construction d'un établissement. Le 16 décembre 1629, aussitôt après l'incendie, on se mit à l'œuvre et, dans le courant de l'hiver, on établit, sur toute la longueur de la gorge, depuis la source, une passerelle en planches maintenue par des solives encastrées dans le rocher, passerelle sur laquelle on posa une conduite de troncs de bois creusés à l'intérieur (*). Le travail fut difficile, car on ne pouvait s'appuyer sur rien et le grondement de l'eau ne permettait pas de s'entendre ; néanmoins, le 19 mai 1630, tout était achevé et l'eau chaude arrivait dans le nouvel établissement, qu'on avait commencé à construire en même temps. — « Alors, dit un

(*) La passerelle actuelle ne date que de 1859. On trouve une vue perspective de la conduite d'eau depuis la source jusqu'à l'établissement de Pfæfers en 1642, dans un curieux ouvrage de Martin Zeiller et Merian : *Topographia Helvetiæ, Rhætiæ et Valesiæ*. (Voir, sur ce Martin Zeiller, Paul Zeiller, *Annuaire du Club Alpin* de 1887). Nous-même avons publié, dans *la Nature* du 13 janvier 1894, deux dessins figurant les bains de Pfæfers au XIII^e^ et au XVII^e^ siècle.

auteur du temps, on chanta le psaume : « Dieu a laissé descendre son esprit et les eaux ont coulé.» Un père de Palestine, qui se trouvait là après avoir parcouru toute l'Europe, déclara qu'il n'avait jamais vu un travail aussi miraculeux et, quant aux vieux baigneurs, qui voulurent aussitôt essayer les eaux, ils reconnurent que l'amélioration était déjà beaucoup plus prompte. »

Nous empruntons cette citation à un ouvrage publié en 1631, par Johann Kolwecken, sous un titre pompeux, dont la langue française est malheureusement impuissante à rendre l'admirable enchevêtrement et la redondance grandiloquente. En voici seulement le début :

« Traité du remarquablement salutaire, célèbre au loin et naturellement chaud bain de la Sainte Vierge, situé à Pfæfers en Haute-Suisse, bain de merveilleuses nature, manière d'être, propriétés, vertus, puissance et effet, ainsi que de la manière dont il fut amené depuis l'ancienne, horrible, effrayante, périculeuse et profondément encaissée, sombre gorge de montagnes jusqu'à une place libre, gaie, jouissant d'un air léger, du soleil et du ciel, par le très vénéré, très soumis à Dieu, etc., etc. »

Nous trouvons, dans ce livre, à côté de l'avis de personnes éminentes qui font remonter la vertu salutaire des eaux thermales au baptême de Notre-Seigneur dans le Jourdain, cette opinion, mentionnée plutôt comme une croyance populaire que comme une chose reconnue, que ces eaux viennent des pluies infiltrées de très loin, sur les monts Jöchern, et se sont échauffées dans leur parcours souterrain à travers le sol.

Le règlement des bains, qui s'y trouve reproduit, nous donne également un bien amusant tableau de la vie des baigneurs dans les trois nouvelles piscines, où 100 personnes, à la fois, continuaient à se baigner jusqu'à 12 jours consécutifs : ce que l'auteur commence pourtant à trouver excessif.

Il y avait alors le bain des hommes, le bain des femmes et le bain des pauvres.

On s'asseyait, côte à côte, à des places assignées suivant la hiérarchie sociale par le maître baigneur, en ayant soin de ne pas avoir d'eau plus haut que le ventre. « S'il y a un endroit malade plus haut, dit un docteur de 1708, il faut y verser de l'eau minérale, mais ne pas la recevoir directement. » La tête était couverte avec de la toile ou de la laine légère. On mangeait, buvait, dormait dans l'eau, où, parfois, plusieurs voisins s'étant endormis ensemble, l'un venait à glisser et se noyait (*). Autour des piscines se promenaient des grands seigneurs qui s'amusaient à parier avec les baigneurs à qui resterait le plus longtemps dans le bain, boirait le plus d'eau, etc. Les baigneurs, avant de s'en aller, trempaient encore dans l'eau la chemise qu'ils allaient mettre pour en emporter la vertu salutaire. Beaucoup, à la suite de ces bains interminables, avaient la peau toute emportée.

Le règlement prévoit les coups de toute espèce, les rixes, les blessures par des armes qu'il défend d'introduire, les passades, etc... Un article spécial, qui est bien à l'honneur du caractère suisse, interdit, dans cette maison dépendant d'une abbaye et soumise à la surveillance des moines, aussi bien aux catholiques qu'aux réformés, de discuter la religion et de tourmenter les autres à ce sujet. De même, il faut s'abstenir de chanter des psaumes ; les chants catholiques ou mondains ne sont tolérés qu'à la condition « de ne pas être vociférés de manière à gêner les vieillards et les personnes faibles.» Aux hôteliers il est interdit de chercher à s'enlever les voyageurs comme de leur servir de la vaisselle sale ; si

(*) Les descriptions célèbrent, comme un avantage précieux, l'existence d'un courant continu dans les piscines, qui devait être, en effet, nécessaire pour les nettoyer.

ce dernier cas se produisait, les baigneurs sont invités à la casser, etc.

Après ces travaux et cette réglementation de 1630, sur lesquels nous nous sommes étendu peut-être un peu longuement, nous voyons, le 11 mars 1680, un éboulement qui recouvrit la source au point de faire croire qu'on ne la retrouverait jamais ; puis, nous constatons, en 1704, une reconstruction de l'établissement à peu près sur le même emplacement, reconstruction célébrée aussitôt par quelques ouvrages médicaux dont le style, mélangé de vieil allemand et de latin, fait penser à Molière. Nous tirerons seulement de l'un d'eux (l'*Hydrophylacium* par le docteur Johan Reydt, 1708), cette explication de la chaleur des eaux thermales :

... « Il est incontestable qu'il y a, dans les cavernes les plus profondes de la terre, un feu ou une espèce de feu qui n'est, ni un élément proprement dit, ni même une partie d'élément, mais une certaine combinaison ignée naturelle, *pro natura combustibilium*, et que ce feu est fait par la nature pour deux causes : tant comme une *materia* de beaucoup de métaux et de *mixtorum terrestrium* que comme un commode *instrumentum activum* et outil de la nature dans ses diverses *operationibus* secrètes (d'où les philosophes disent : *nil nisi fere ignis instrumento perficitur*). Au moyen de la chaleur et par les veines du grand insaisissable cercle de la nature, il s'opère nombre de merveilleuses *mixta* de choses terrestres, par la bonté de Dieu, pour le bien des hommes et, en particulier, ce feu donne aux eaux une chaleur et tempérament convenables : lequel feu Aristoteles (2 *meteor* 3, *circa finem* et C 4 et 8 et 24 *problematum*), tient et nomme pour cause et *casum* de toutes *actionum et passionum*, c'est-à-dire de toutes choses sur terre; etc ... »

Et voilà pourquoi votre fille est muette !

L'établissement de Pfæfers demeura la propriété de l'abbaye jusqu'en 1838. En 1838, il fut confisqué par l'État de Saint-Gall, en même temps que l'abbaye dont il dépendait, transformée depuis lors en un asile d'aliénés. L'année suivante, l'ingénieur Hartmann construisit, de

l'établissement jusqu'à Ragatz, une route de voitures, le long de laquelle on posa des conduites et, en 1840, on inaugura, à Hof-Ragatz, l'établissement thermal actuel, en même temps qu'on nommait Hartmann directeur des sources. En 1847, Escher von der Linth trouva, dans les schistes encaissant la source, des fossiles qui en déterminaient l'âge nummulitique et, enfin, en 1858-59, on exécuta le captage que nous aurons à décrire plus loin.

II. — GÉOLOGIE DE LA RÉGION (*).

La région de Pfæfers présente un des plus remarquables accidents géologiques que l'on connaisse : le double pli de Glaris, si bien décrit par M. Heim, pli dont une carte et deux coupes ci-jointes (Pl. III), indiquent la disposition (**). On voit, sur la première coupe (*fig.* 2), comment les terrains, dirigés d'une façon générale N.-E.—S.-O ont été, du Nord et du Sud, refoulés au-dessus du Calfeuserthal (haute vallée de la Tamina), de telle sorte que, aussi bien au Nord de cette vallée, dans les Graue-Hörner qu'au Sud, dans le Ringelspitz, on observe un renversement semblable des couches et que les terrains plus anciens viennent, au-dessus de l'éocène de cette vallée, former comme deux mâchoires symétriques. A 5 ou 6 kilomètres de distance, dans les Graue-Hörner et à Vättis

(*) Voir les feuilles 9 et 14 de la carte géologique suisse au 1/100.000e.

Cf. Heim, 1876, *Mechanismus der Gebirgsbildung*, t. I, p. 126 à 246, sur le pli de Glaris et p. 320 sur la vallée de la Tamina.

Heim, 1888-89, Einige Worte zur Geologie des Clubgebietes (Jahrbuch des Schweizer Alpen Clubs, p. 247).

(**) Nous n'avons pas besoin de rappeler le beau travail dans lequel M. Marcel Bertrand a rapproché la structure des Alpes de Glaris de celle du bassin houiller franco-belge. (*Bull. Soc. géol.*, 3e, t. XII, p. 318 ; 1884).

(sur la Tamina) (*fig.* 3), on peut observer, par suite, deux coupes des mêmes terrains (verrucano, jurassique, éocène), superposés en sens contraire. Ce renversement grandiose couvre plus de 1.000 kilomètres carrés.

La Tamina, dans le lit de laquelle se trouve, comme nous l'avons vu, la source de Pfæfers, commence, dans son cours E.-O., du Sardona à Vättis, par descendre la série normale des couches : grès de Taveyannaz (éocène), crétacé, jurassique supérieur (malm), jurassique inférieur (dogger), et Verrucano. Après quoi, de Vättis à Ragatz, elle recoupe la série en sens inverse. Les gorges de Pfæfers et tous les environs immédiats de Ragatz sont formés de schistes noirs, à joints de calcite et calcaires éocènes du flysch, très redressés, dirigés N.-E.—S.-O. avec pendage Sud.

Cette vallée de la Tamina est encaissée entre les deux massifs montagneux des Graue-Hörner à l'Ouest, du Calanda à l'Est. Dans les Graue-Hörner, le Verrucano apparaît renversé au-dessus du flysch à une altitude de 2.300 à 2.600 mètres et compose le sol d'une série de petits lacs, Schwarzsee, Schottensee, Wildsee, où l'on cherche, comme nous le verrons, l'origine des eaux minérales de Pfæfers. Immédiatement à l'Est du Verrucano, et encore à 2.500 mètres d'altitude, commence le flysch, où se trouve le Wangsersee. A l'Est, le massif du Calanda, qui monte jusqu'à 2.803 mètres, est caractérisé par une torsion générale des couches dirigées là à peu près Nord-Sud au lieu d'être N.E.—S.O.; le crétacé en occupe les parties hautes et tout le flanc Est en superposition normale sur le jurassique supérieur (voir Pl. III, *fig.* 3).

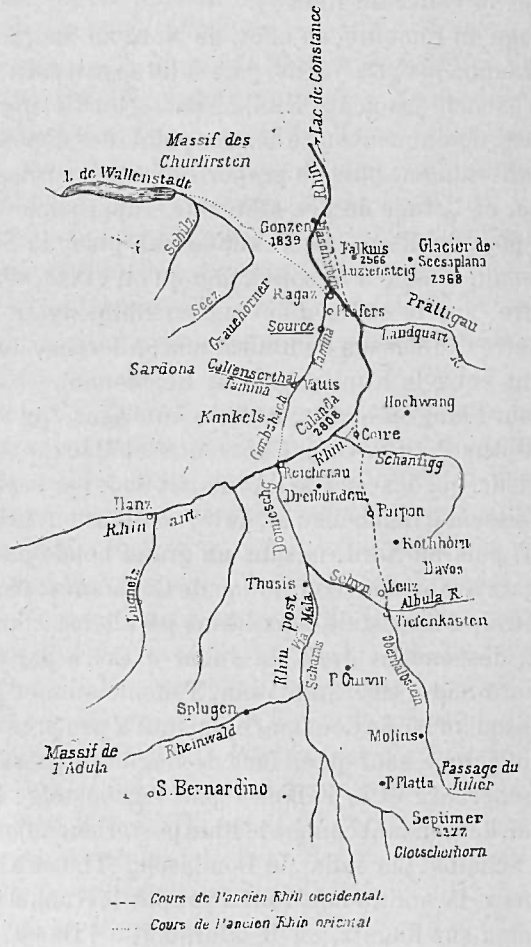
Pour le sujet spécial qui nous occupe, il est important de reconnaître comment, au milieu de cet ensemble de terrains, s'est creusée la gorge profonde de la Tamina qui, en créant à la rencontre de la cassure transversale où remontaient les eaux souterraines, un point de moindre pression, a déterminé leur émergence à l'endroit où nous la constatons; or, cette question se trouve avoir, comme l'a montré M. Heim, un intérêt général pour l'histoire de la vallée du Rhin (*).

Lorsqu'on remonte, en effet, du Nord au Sud, la vallée de la Tamina jusqu'à Vättis, puis celle de son petit affluent le Görbsbach jusqu'au Kunkelspass (Pl. III, *fig.* 1), on constate, notamment en ce dernier point, des dépôts d'alluvions absolument hors de proportion avec le ruisseau qui y coule, et l'étude de ces alluvions, rapprochée de celle des dépôts du Rhin, deux kilomètres plus au Sud vers Reichenau, amène à la conviction qu'on est là, d'un bout à l'autre, sur le cours d'un ancien Rhin, ayant coulé à 700 mètres au-dessus du Rhin actuel (différence de niveau existant entre le Kunkelspass et Reichenau).

Aujourd'hui, on le sait, le Rhin antérieur, qui vient du Saint-Gothard au S.-O. par Dissentis et Ilanz, et le Rhin postérieur, qui descend de l'Adula, au Sud, par la via Mala, se réunissent à Reichenau et, de là, contournent le Calanda à l'Est, puis au Nord, faisant un grand coude par Coire et Ragatz avant d'arriver au lac de Constance. Autrefois, au contraire, il existait deux Rhins parallèles : l'un, occidental, descendant droit du Julier à Coire par des vallées Nord-Sud, l'Oberhalbtstein, Tiefenkasten et Parpan, puis, jusqu'au lac de Constance, suivant à peu près le cours du Rhin actuel, sauf qu'en face de Ragatz il passait entre le Fläscherberg et le Falkniss par Luziensteig; l'autre, oriental, descendant comme le Rhin postérieur aujourd'hui, par le Schams (Via Mala), le Domleschg (Thusis à Reichenau), mais, là, continuant tout droit par le Kunkelspass et la Tamina sur Ragatz, où il bifurquait à l'Ouest, dans la dépression que suit le chemin de fer de Zurich à Coire vers

(*) 1891. Heim, *Geologie der Hochalpen zwischen Reuss und Rhein*, p. 469. — Nous ne faisons ici que résumer cet important ouvrage.

le lac de Wallenstadt. Entre ces deux Rhins, une longue crête rectiligne était formée par le Gletscherhorn, le Pitz Curver, le Stäzerhorn, le Calanda et le Fläscherberg.



Cet état de choses a été doublement modifié : d'abord, une première jonction se fit, entre les deux Rhins anciens, par un affluent du Rhin occidental, le Schyn (Albula, de Tiefenkasten à Thusis), et le Rhin oriental, s'y engageant,

laissa ainsi à sec la vallée de Parpan ; puis, une jonction du même genre eut lieu par la dépression de Reichenau à Coire et la vallée du Kunkelspass et de la Tamina fut asséchée ; en sorte que le courant actuel passe alternativement d'un des anciens lits du Rhin dans l'autre.

La conséquence orographique, c'est que, tandis que la vallée nouvelle adoptée par les eaux du Rhin se creusait progressivement de 700 mètres, les vallées abandonnées, notamment celle du Kunkelspass, restaient à leur ancien niveau. Combien ce niveau était en pente douce, à travers les terrains les plus différents, de Kunkels à Vättis et Pfæfers, c'est ce que montre l'observation des terrasses d'alluvions :

POSITION des terrasses Ancien lit du Rhin	HAUTEUR au-dessus de la mer	NATURE du Terrain	NOUVELLE ENTAILLE actuellement faite par le torrent la Tamina (Niveau du fond)	DIFFÉRENCE de hauteur (creusement par la Tamina)
Kunkels	1150	Juras. sup. (malm.).	Entaille pas encore commencée	0
Galtschleiren	1059	Juras. inf. (dogger).		
Pardätsch.	1032	Dolomie du Röthi.	Ruisseau du Görbsbach à environ 1.000 mèt.	32
Vättis	976	Verrucano.	940	36
Langwies	943	Calc. nummulitique		
Valens	915		700	215
Village de Pfæfers	830	Sch. du flysch	560	270
Vadugg	820		530	290

Ce tableau fait voir, en outre, comment les eaux, restées fidèles à cette ancienne vallée et constituant aujourd'hui le Görbsbach, puis la Tamina, ont travaillé à rétablir l'équilibre rompu et à supprimer la chute brute qui se serait produite à leur débouché dans le Rhin à Ragatz, en creusant, de leur côté, la vallée sur une profondeur de près de 300 mètres.

Le résultat de ce travail d'érosion, ce sont les gorges actuelles de Pfæfers, où les eaux ont scié verticalement les schistes en laissant, des deux côtés, les parois abruptes.

Sous le torrent de la Tamina, — on a pu s'en convaincre dans les travaux de captage de la source, en mettant la rivière à sec, — les deux parois schisteuses se rejoignent en cuvette et aucune fente d'origine profonde ne continue la gorge, qui est tout entière due à l'érosion (*). Notamment la veine calcaire transversale, d'où sortent les sources, ne présente aucun indice de fissure. Tout au contraire, les preuves d'érosion sont nombreuses : dans le lit même de la Tamina, on a trouvé, lors des travaux, des blocs pesant jusqu'à 20 tonnes qui avaient fortement strié le fond. Des blocs du même genre, ayant jusqu'à $0^{m},15$ de diamètre, ont été trouvés dans une sorte de réservoir intérieur des sources (Pl. IV, *fig.* 1); des cavités ont été creusées sur les parois de la gorge, etc. (**).

Un point important, c'est que ce travail se continue tous les jours. La comparaison, dans le tableau précédent, des deux pentes de l'ancien Rhin et de la Tamina sur le même parcours, montre combien la première, qui était celle d'un grand fleuve achevé, était plus douce que la seconde. On a, d'ailleurs, depuis qu'on observe la source, constaté nettement l'abaissement progressif du lit du torrent, accompagné par l'abaissement correspondant de la source thermale qui vient toujours sourdre au point le plus bas (***).

(*) Cf. de la Noé et de Margerie, *les Formes des Terrains*, p. 167, sur la généralité de cette observation.

(**) On peut voir quelques-unes de ces cavités d'érosion sur le rocher qui domine les sources (Pl. IV, *fig.* 3).

(***) Voir, plus loin, p. 154 et 155. — Une théorie originale de Baer (*Bull. Ac. imp. des sc. de Saint-Pétersbourg*, 3 février 1860, 2e partie) a cherché l'influence que pourrait avoir le mouvement de rotation de la terre sur les fleuves coulant, comme la Tamina, suivant un méridien. Les eaux doivent être portées constamment vers l'Est et, par suite, ronger la rive Est à son pied, donc, en la faisant ébouler, la maintenir verticale. Cet effet, qui s'observerait, d'après Baer, sur les berges de divers fleuves Nord-Sud, aurait amené, pour la Tamina, la disposition différente des deux rives entre l'établissement de Pfæfers et Ragatz, celle de l'Est infiniment plus abrupte que celle de l'Ouest (cf. Denzler, *Mittheil der naturforschenden Gesellsch.*, in Bern, 14 janv. 1860.)

Comme l'a fait remarquer M. de Lapparent (*Géologie*, 3e éd., p. 189), cette théorie, soumise au calcul, ne donne, entre les actions érosives sur les deux rives Est et Ouest, que des différences insignifiantes.

Voir 1847, Escher von der Linth : Die Thermalquellen von Pfæfers (*Mitth. d. Zürch. naturf. Ges.*).

III. — DESCRIPTION DES SOURCES. — PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES.

Au fond de la gorge de la Tamina, que nous venons de décrire, il existe, en travers des schistes noirs et calcaires nummulitiques du flysch (dont l'âge a été précisé, en ce point même, par des fossiles, notamment des nummulites, trouvés par Escher von der Linth), un faisceau de fissures transversales sur lequel sont placées les sources thermales.

Les schistes sont dirigés, d'une façon générale, N. 55° E avec pendage au S.-E de 30 à 40°; le torrent, qui les entaille, est à peu près N.-S, et les fissures grossièrement E.-O. La principale est visible sur les deux parois de la gorge; un mince dépôt de calcaire ferrugineux la caractérise. Dans le lit du torrent, les griffons, particulièrement nets, sont formés par des trous ronds au milieu d'une veine calcaire.

La tendance de l'eau minérale étant toujours de s'échapper au point où elle est combattue par la moindre pression, c'est-à-dire au point le plus bas exposé à l'air libre, il est naturel de penser, comme nous venons de le dire, que, dans cette gorge profonde, les principales sources ont toujours dû être sur le bord de la Tamina. Néanmoins, il a existé, jusqu'en 1859, dans les rochers de la rive droite, une véritable grotte servant de réser-

voir souterrain (*) où les eaux s'accumulaient pour s'échapper ensuite par un orifice supérieur (**) : ce qui avait pour effet d'amener quelquefois l'apparition de sources intermittentes à des niveaux plus élevés. En y reparaissant, l'eau ne faisait que suivre un ancien chenal correspondant à une époque où la Tamina, ayant moins avancé son travail d'érosion de la gorge, avait un niveau plus élevé. D'après d'anciennes observations, on a calculé qu'en 200 ans, du XV^e^ au XVII^e^ siècle, le niveau moyen de la Tamina avait baissé de 2 mètres ; de 1631 à 1708, de 1 mètre.

Si l'on se reporte à une coupe ci-jointe (Pl. IV, *fig.* 1), on y verra l'emplacement des principales sources dont nous aurons à parler : la source supérieure V ; la Herrenquelle H, employée surtout au XVII^e^ siècle et correspondant avec la grotte G que vint recouper, en 1859, la galerie T, produisant ainsi une source artificielle T, la Stollenquelle ou source Hartmann ; le Kessel (chaudron) K, seul utilisé jusqu'en 1860 ; les sources du fond de la Tamina M et les sources de la rive gauche L. Des vennes d'eau chaude, appelées Gumpen (marais), au pied de la rive droite, ont été supprimées par le creusement de la galerie T.

Débit. — Le débit des sources de Pfæfers est en relation nette et depuis longtemps constatée avec l'abondance des neiges dans les montagnes voisines ; c'est même une des sources thermales où l'origine superficielle des eaux s'est trouvée, depuis longtemps, par ce fait, le plus clairement démontrée : ce débit doit, en outre, être influencé par la pression variable résultant du niveau de la Tamina (***) niveau qui, lui-même, dépend de la fonte des neiges. La quantité d'eau fournie est donc loin d'être

(*) G, Pl. IV, *fig.* 1.
(**) Voir H, (même figure).
(***) Voir plus loin, p. 166.

constante, et, avant des travaux de captage exécutés en 1860, il arrivait assez souvent qu'on vît les sources tarir, même dans la saison où elles sont le plus abondantes, en été.

C'est ainsi qu'on a noté des arrêts complets dans les sources en 1596, 1781, 1800, 1819. D'une façon générale, on remarquera que les sources supérieures ont eu une tendance à diminuer et enfin à disparaître successivement, le débit principal se reportant plus bas. Ainsi la Herrenquelle, qui était la source principale au XIV^e^ siècle, qui, encore au XVII^e^, alimentait le bain des seigneurs, a tari huit mois, en 1841 ; puis d'octobre 1842 à juillet 1844 ; d'août 1844 à mai 1846 ; toute l'année 1848. En 1860, elle a été supprimée définitivement par les travaux. Une influence analogue, quoique moins sensible, s'est fait sentir sur le Kessel.

Quant au rôle des précipitations neigeuses, il est facile à constater. C'est ainsi que le débit a pu être représenté par les chiffres suivants :

MOYENNE des 16 années	NOV.	DÉC.	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	SOMME
1837-1852	11,8	10,3	12,7	11,0	12,7	13,1	71,6
1855-1856	3	7	11	5	4	9	39

En 1856, après un hiver particulièrement sec, on voit combien le débit de la source avait diminué ; cette année-là, le Kessel tarit, non seulement dans les niveaux *a* et *b*, (Pl. IV, *fig.* 1), mais même au-dessous. Le même tableau montre, en outre, comment ce débit se modifie d'un mois à l'autre dans des proportions que les sources, situées dans des régions moins montagneuses, ne présentent jamais, et le résultat serait encore plus net si nous comparions à ces mois d'hiver, qui sont ceux des basses eaux et des faibles débits pour la source comme pour le torrent, les mois d'été qui sont ceux des eaux hautes. De juin à

septembre, jamais le Kessel (chaudron), n'a cessé de couler ; au contraire, c'est la règle en hiver et, chaque année, à peu près à la même date, la source tarit pour reparaître à une époque fixe. On a noté que les étés où le griffon du Kessel ne s'était pas rempli à la date habituelle, étaient ceux de 1840, 1843, 1844, 1846, 1856, correspondant à des hivers précédents sans neige ; au contraire, après les hivers humides de 1816 et 1821, le débit avait été particulièrement abondant ; de même, le 9 octobre 1860, après l'hiver neigeux de 1859 et les pluies d'automne, le débit est arrivé à 10.840 litres par minute.

Les observations montrent que cette influence est due à l'accumulation des neiges, qui exerce un effet durable, tandis que les pluies, à moins de se prolonger pendant des semaines, n'ont pas d'action notable. L'effet de ces phénomènes météoriques serait sensible, suivant les uns, en deux semaines, suivant d'autres en six.

Nous venons de donner un exemple du débit maximum ; le débit moyen en été est d'environ 4.000 litres par minute ou 5.760 mètres cubes par 24 heures (*). C'est donc un véritable fleuve d'eau chaude, dont l'abondance permet, en particulier, d'entretenir, dans tous les bains, un courant constant.

Propriétés chimiques. — Dès le XVI^e^ siècle, Paracelse avait reconnu, en distillant l'eau de Pfæfers, qu'elle ne donnait presque aucun résidu et en avait conclu qu'elle était très pure et ne contenait, notamment, ni soufre ni aucun minéral. Toutes les observations ultérieures n'ont

(*) Comme terme de comparaison avec des sources analogues, le débit à Gastein (Tyrol) est de 3.500 mètres cubes ; à Néris (Allier), de 1.000 mètres cubes (659 litres par minute) ; à Bourbon-l'Archambault (Allier), de 300 mètres cubes, etc....

On trouve, dans certains auteurs, le débit de Pfæfers évalué à 7.000 litres par minute ; c'est là un maximum qui n'a été atteint qu'à la suite de périodes neigeuses exceptionnelles.

fait que confirmer cette pureté exceptionnelle, qui fait de l'eau de Pfæfers une sorte d'eau distillée.

Parmi les observateurs antérieurs au XVII^e^ siècle, on cite Leonhardus Fuchsius, Martinus Rulandus, etc... En 1630, le D^r^ Fabritius Hildanus, médecin de Berne, étudia le dépôt de la source du Seigneur (Herrenquelle) et, après l'avoir lavé et débarrassé de son sable, le compara à une *terra sigillata* (argile?), qu'il employa comme médicament externe, n'osant pas s'en servir à l'intérieur. En 1704, le D^r^ Zacharius Damur, en vue d'une thèse sur l'eau de Ragatz, expérimenta l'eau : 1° avec des noix de galle pulvérisées ; 2° avec du sirop de violettes ; 3° avec du sel ammoniac, de la corne de cerf et du tartre ; 4° avec des acides et du vitriol ; 5° avec de l'extrait de cochléaria, etc. Après avoir donné les résultats, il se demande : *Quid igitur ex his omnibus tandem concludendum venit?* et conclut, en effet, savamment, que la meilleure quantité d'eau à prendre est la *tolerantia*, celle qu'on peut supporter avec plaisir.

Voici enfin une analyse récente et très exacte due à M. le docteur de Planta Reichenau. Pour un litre (1.000 grammes) d'eau, les résultats ont été les suivants :

Sulfate de potasse	0^gr^,00746
Sulfate de soude	0 ,03294
Chlorure de lithium	0 ,00020
Chlorure de sodium	0 ,04934
Iodure de sodium	0 ,00001
Bromure de sodium	0 ,00002
Borate de soude	0 ,00038
Carbonate de soude	0 ,00613
— de chaux	0 ,13064
— de magnésie	0 ,05306
— de strontiane	0 ,00152
— de baryte	0 ,00064
— de fer	0 ,00172
Phosphate d'alumine	0 ,00091
Traces de rubidium, cœsium, thallium.	
Somme des éléments fixes	0^gr^,29905
Eléments directement déterminés	0 ,29500

Éléments gazeux :

Acide carbonique à l'état libre ou mi-libre. . 0gr,09715

D'où nous tirons, par le calcul, en rétablissant les éléments chimiques réellement déterminés, ce qui nous paraît toujours préférable, pour les comparaisons, à des groupements un peu arbitraires :

$NaO = 0{,}04414$	$Al^2O^3 = 0{,}00038$
$KO = 0{,}00403$	$SO^3 = 0{,}02190$
$LiO = 0{,}00007$	$HCl = 5{,}03097$
$CaO = 0{,}07316$	$HBr = 0{,}00002$
$MgO = 0{,}02360$	$HI = 0{,}000009$
$FeO = 0{,}00107$	$PhO^5 = 0{,}00053$
$StO = 0{,}00106$	$CO^2 = 0{,}08373$
$BaO = 0{,}00050$	$BoO^3 = 0{,}00020$

Sur 100 parties du volume de gaz dégagé par la cuisson de l'eau thermale, on a trouvé :

Acide carbonique	16,43
Oxygène.	24,24
Azote.	59.33
	100,00

Cette analyse a été presque exactement confirmée par une autre, du Dr S.-A. Büchner, professeur à Munich (*).

On voit, en résumé, que la pureté de ces eaux est remarquable, puisque la seule substance dont elles renferment une trace un peu sensible est le carbonate de chaux, évidemment emprunté aux schistes calcaires traversés par les eaux. On a attribué cette pureté à la nature des terrains avoisinants, à travers lesquels semble s'effectuer le parcours souterrain des eaux, terrains formés, jusqu'à une grande distance, de schistes calcaires peu solubles (**).

(*) 1874. Fr. Daffner. Thermes indifférents de Pfæfers-Ragatz.

(**) On doit noter d'une façon générale, que, dans la circulation souterraine d'une eau thermale, la dissolution des substances en contact doit se faire bien plus à la remontée vers le jour, alors que les eaux ont été déjà échauffées, qu'à la descente lorsqu'elles sont froides. Si l'on joint à cela que, pour certaines sources très chaudes (nous ne parlons plus ici de celles de Pfæfers), il a pu y avoir une véritable vaporisation et distillation au point le plus profond, on s'explique comment, dans tous les cas, la nature des terrains, dans un certain rayon autour du griffon, est particulièrement importante à étudier pour expliquer la composition chimique de ces eaux.

Par leur composition chimique, ces eaux se rapprochent de quelques autres ayant des propriétés analogues, que les auteurs allemands qualifient d'indifférentes (*), telles que :

Neuhaus : 35° C. — 0gr,28 de parties solides, parmi lesquelles domine le carbonate de chaux, représenté par 0,1500;

Badenweiler : 30 à 32° C. — 0,29 de parties solides, dont 0,11 de carbonate de chaux;

Wildbad, en Wurtemberg : 32 à 38° C. — 0,57 de parties solides, dont 0,25 de chlorure de sodium;

Gastein (Tyrol) : 35 à 47° C. — 0,60 de parties solides dont 0,20 de sulfate de soude;

Plombières (Vosges) : 19 à 69° C. — 0,28 de parties solides.

ou encore Teplitz (Bohême), Landeck, Schlangenbad, Johannisbad, Tobelbad (**), etc... Elles sont moins minéralisées que certaines eaux douces.

Propriétés physiques. — *Température.* — La température des sources de Pfæfers est de 37°,5 à 38°,7 à la source; jusqu'aux bains de Pfæfers, elle diminue de 0°,7 à

(*) Voir : *Balneologische Tafeln. Graphische Darstellung der Zuzammensetzung und Temperatur der wichtigsten Heilquellen*, par le Dr H. Quincke (Berlin, 1872, Verlag von August Hirschwald, 68 unter den Linden.)

(**) Dans le Plateau Central, lorsqu'on sort de la région volcanique, où l'acide carbonique, dont le sol est imprégné, a aidé à la dissolution des alcalis, on trouve également des sources chaudes très peu minéralisées. Ainsi, le résidu fixe par litre n'est que de 1gr,144 à Néris (Allier), 1gr,95 à Évaux (Creuse).

1°,3; jusqu'à ceux de Ragatz, de 2 à 2°,5; l'eau y arrive donc à environ 35 degrés.

Poids spécifique. — Le poids spécifique, en raison de la pureté de l'eau, n'est que de 10.003 grammes par rapport à 10.000 grammes d'eau distillée.

Couleur, etc. — L'eau, dans les baignoires de faïence blanche, est d'un bleu verdâtre, comme toutes les eaux limpides de montagnes. Faute de parties solides en quantités appréciables, elle paraît remarquablement douce au toucher.

Dans les conduites et, en particulier, aux sources, elle dépose un léger dépôt argileux, jaunâtre, formé de très fines parcelles de schiste entraînées, qu'on appelle mucosité balnéaire.

En résumé, l'action de ces eaux ne peut être attribuée, ni aux éléments chimiques dissous (dont on paraît, d'ailleurs, avoir généralement exagéré le rôle, autrefois, dans les bains, puisqu'on sait aujourd'hui qu'ils ne pénètrent pas l'épiderme), ni à la température très modérée, ni à aucune autre propriété physique connue. Tout au plus pourrait-on invoquer leur pureté même.

Origine des eaux. — Nous avons déjà vu, dans la partie historique (*), que, dès le XVII^e^ siècle, sans doute parce qu'on avait été frappé des variations considérables de débit des sources, on leur attribuait, non pas une origine interne et plus ou moins mystérieuse, comme on l'a fait souvent ailleurs, mais une origine superficielle due aux pluies et aux neiges tombées sur les montagnes voisines. Cette idée n'a fait que se confirmer à mesure que l'on a accumulé les observations et qu'on a pu

(*) Voir p. 144.

comparer, pour de longues périodes, l'intensité variable du débit, avec celle des précipitations neigeuses antérieures; c'est ainsi qu'on a reconnu que l'abondance des eaux était due à celle des neiges, tandis que celle des pluies n'avait qu'une influence restreinte.

Restait à chercher plus précisément quel était le bassin d'infiltration. Le sens général du pendage des couches schisteuses voisines plongeant vers l'Est, conduit à se diriger vers l'Ouest. A l'Est, d'ailleurs, le massif imposant du Calanda n'offre que des surfaces insignifiantes pour recueillir et accumuler la pluie et la neige; celles-ci s'écoulent en tombant en avalanches sur les deux versants très escarpés qui dominent : à l'Est, le Rhin; à l'Ouest, la Tamina. Au contraire, à l'ouest, le massif des Graue-Hörner présente, dans ses parties hautes, une série de petits lacs : le Wildsee, 2.246 mètres; le Schollensee, 2.081 mètres; le Schwarzsee, 2.396 mètres; le Wangsersee, 2.032 mètres; lacs dont un seul, le Wangsersee, a une émission régulière vers la Saar, tandis que les autres n'ont qu'un déversoir incomplet et intermittent dans la Seez du Weistannen Thal. C'est donc là que l'on a placé hypothétiquement l'origine des sources : ce qu'on a cherché, sans une précision encore bien complète, à prouver par des observations pluviométriques sur la quantité d'eau disparue dans ce bassin comparée au débit des sources. Il suffit alors d'admettre que, sur un trajet d'environ 9 kilomètres à vol d'oiseau, les eaux sont descendues à 1.200 mètres de profondeur (*) pour expliquer leur tempé-

(*) On peut admettre un degré géothermique de 31 mètres. Quant à la température acquise par l'eau dans sa descente, elle est, au minimum, la différence entre sa température à l'émergence et la température moyenne au point d'infiltration. Il doit, d'ailleurs y avoir perte de chaleur à la remontée par conductibilité, par infiltration d'eaux froides, etc., en sorte que la température calculée n'est qu'un minimum.

rature. La composition des schistes traversés fait comprendre, de son côté, la composition chimique.

En résumé, les sources de Pfæfers sont un excellent type de ce qu'on a appelé les *Thermes alpestres*, ou les *Wildbäder*, caractérisés par la brusque remontée des eaux d'infiltration que des couches schisteuses très redressées ont, en pays montagneux, rapidement portées à de grandes profondeurs, sans qu'il se soit trouvé sur leur trajet d'éléments solubles pour les minéraliser. Ces sources, dont on trouve nombre d'exemples, le long des Alpes, peuvent atteindre des températures très élevées en restant presque complètement pures (*). La simple comparaison de leur analyse avec la teneur en alcalis des sources chaudes de régions volcaniques telles que l'Auvergne ou la Bohême, suffirait à montrer que, pour ces dernières, il est intervenu un autre élément que la chaleur, l'acide carbonique, emmagasiné dans le sol sous forme de mofettes et entraîné par la circulation des eaux, qui seul a permis la dissolution abondante des alcalis et tout particulièrement de la soude, bien plus que de la potasse.

Dans cet ordre d'idées, le groupement chimique des sources thermales par régions géologiques, où toutes ont une composition analogue en rapport avec celle des terrains, est bien intéressant à étudier.

IV. — CAPTAGE.

Le captage des sources de Pfæfers présente quelques caractères spéciaux sur lesquels nous appellerons d'abord l'attention.

(*) Les eaux à la fois chaudes et fortement minéralisées des Alpes sont en relation avec des terrains gypsifères ou salifères.

En premier lieu, la situation de leur griffon rendait, comme la partie historique de ce mémoire l'aura suffisamment montré, l'exploitation directe et sur place extrêmement pénible et difficile ; en sorte qu'on a été amené à transporter l'eau thermale : d'abord, à 500 mètres de distance, à la sortie de la gorge, à l'ancien établissement de Pfæfers, construit en 1630, rebâti en 1704 ; puis, 6 kilomètres environ plus loin, à Ragatz, où les bains sont installés aujourd'hui.

La pureté de l'eau, qui ne renferme ni gaz, ni éléments chimiques en quantités appréciables, permettait d'exécuter cette opération sans craindre une perte sensible de ses propriétés salutaires. Mais, sur les 600 mètres qui constituent la première partie du trajet, on s'est trouvé gêné pour abaisser le niveau du captage principal, comme on y avait évidemment intérêt si l'on voulait augmenter le débit (*) ; il fallait, en effet, maintenir les installations et, particulièrement, les conduites au-dessus du lit du torrent qui, étant profondément encaissé sur une largeur de 6 à 10 mètres, a des crues rapides et souvent inquiétantes. Une plaque commémorative posée à côté de la source rappelle (**) que, lors de la crue de juillet 1863, l'eau du torrent s'est élevée de près de 3 mètres au-dessus de ce niveau de captage. D'ailleurs, pour obtenir l'écoulement rapide de l'eau chaude sans perte de température, il fallait lui assurer une pente suffisante : celle qui a été réalisée

(*) On sait que le débit d'une source thermale augmente très rapidement à mesure qu'on la puise plus bas. Le remède très simple, si l'on en avait eu besoin, était évidemment d'installer des pompes ; mais il est inutile de faire remarquer que, même en utilisant comme force motrice, ainsi qu'on a eu l'occasion de le faire en Suisse, le torrent voisin, il en serait résulté un supplément de dépense. En somme, aujourd'hui, l'eau est en général, à Ragatz, remarquablement abondante.

(**) Voir Pl. IV, *fig.* 3.

correspond à 4 mètres de différence de niveau pour 500 mètres, ou 8 millimètres par mètre.

Dès lors, le niveau de la conduite de captage étant très élevé et, par suite, l'eau étant recueillie trop haut, le débit devait être relativement faible et l'on pouvait craindre de manquer d'eau pour les bains. Nous avons vu, plus haut, dans quelles proportions considérables le volume d'eau de la source, et même son niveau le plus élevé d'émergence naturelle, varient avec le régime des neiges. Les veines qui composent cette source étant toutes comprises dans un plan vertical transversal à la gorge et, par suite, leurs griffons se trouvant sur la ligne d'intersection de ce plan et de la gorge, ligne figurée grossièrement par un U posé debout, on a pu voir jadis, dans les années de neiges abondantes, l'eau sortir jusqu'à la pointe supérieure de l'U représentée par la source du haut, plus généralement par la Herrenquelle utilisée au XVII^{e} siècle pour le bain des Seigneurs, et dans les années sèches au contraire, il est arrivé que, même les sources basses, telles que le Kessel et le Gumpen, vinssent à tarir jusqu'au niveau de la Tamina, l'eau chaude ne sortant plus alors que dans la partie inférieure de l'U, c'est-à-dire dans le lit de la Tamina, à 6^{m},30 au-dessous de la buvette de l'établissement qui, par suite, ne pouvait plus être desservie. Il importait donc de capter ces sources du fond de la Tamina, en même temps qu'on allait recouper les sources supérieures par un travers-bancs mené le plus bas qu'il sembla possible et de recueillir toutes les eaux dans un siphon. C'est ce plan que nous allons voir réaliser en 1860 par M. l'ingénieur Hartmann; mais, auparavant, il importe de rappeler brièvement ce qui avait été exécuté dans les siècles précédents.

C'est en 1240, nous l'avons vu, qu'on utilisa, pour la première fois, l'eau minérale de la Herrenquelle dans des piscines creusées en plein rocher, sur la source même.

Des piscines de ce genre, d'abord à ciel ouvert, puis (après 1382) enveloppées de constructions, servirent jusqu'en 1630, époque où l'on fit la conduite amenant l'eau à la sortie des gorges. A ce moment, la Herrenquelle, par suite de l'abaissement progressif du lit de la Tamina, avait diminué de volume et, pendant le XVII^{e} siècle, elle fut réservée au bain des Seigneurs, tandis que la source principale devenait le Kessel (chaudron), capté et élargi à la poudre en 1680, puis muni d'un terre-plein soutenu par un mur au-dessus de la Tamina. L'eau recueillie dans ces deux sources était transportée dans des conduites en bois formées de troncs creusés intérieurement. Lorsque le débit diminuait, on se servait parfois de pompes.

Puis, vers 1840, on nomma un directeur des sources, Hartmann, qui fit de nombreuses observations; en 1847, Escher von der Linth (*), en 1856 Mousson et Hartmann (**) publièrent des études scientifiques sur les sources; dans l'intervalle, en 1850, on avait capté, au pied de la rive droite, au niveau de l'eau, des suintements, nommés le Gumpen, que l'on avait élevés par deux tuyaux $t\,x$ et $u\,y$ jusqu'à la conduite i (***). Enfin, en 1858, on se décida à réaliser le système de captage complet auquel nous faisions allusion plus haut.

A cette époque, on ne connaissait, comme sources, que la Herrenquelle à peu près tarie, le Kessel (desservi par deux conduites aa', bb') (****), dont le débit avait diminué en vingt ans dans des proportions inquiétantes, et les suintements du Gumpen, captés au pied de la rive droite;

(*) Mittheil der naturforschenden Gesellsch. in Zurich, 19 mars 1848.

(**) Dr Wolf's Vierteljahrschrift der naturforschenden Gesellsch. Zurich, I, 162.

(***) Voir Pl. IV, *fig.* 1.

(****) Voir Pl. IV, *fig.* 1 et 2.

on n'avait pas encore constaté l'existence des sources du fond de la Tamina et on n'était pas fixé sur la relation des diverses sources entre elles. Cependant Hartmann avait remarqué que l'eau chaude arrivait uniquement par la fracture transversale à la Tamina et il s'était rendu compte que ces sources chaudes se produisaient même dans le lit du torrent, en constatant que la température de celui-ci était plus élevée à l'aval qu'à l'amont. Pour mesurer le débit de ces sources du lit de la Tamina et s'assurer qu'elles valaient la peine d'être captées, il eut recours à un procédé indirect assez ingénieux en se fondant précisément sur des observations thermométriques.

Soit T la température de la source chaude du fond du torrent, température supposée la même que celle des sources supérieures, x son débit, Q le débit de la Tamina, t sa température à l'amont et t' à l'aval, on doit avoir évidemment :

$$x(T-t') = Q(t'-t) \quad \text{ou} \quad x = \frac{Q(t'-t)}{T-t'}.$$

En faisant les mesures nécessaires, il en conclut qu'il s'écoulait, par minute, dans la Tamina, 20.000 litres d'eau thermale, soit près de six fois le maximum observé dans les anciennes sources.

Il est, dès lors, facile de se rendre compte comment le niveau de l'eau dans la Tamina devait avoir, par la charge hydrostatique exercée sur les griffons, une influence directe sur les sources supérieures. La Tamina étant basse, la charge sur les griffons du lit du torrent devenait trop faible pour refouler l'eau chaude, qui, par suite, aux basses eaux, devait avoir une tendance à se perdre dans la Tamina ; au contraire, si la Tamina montait trop, une certaine quantité d'eau froide devait, par la charge, s'introduire dans les fissures et augmenter le débit en diminuant la température. Un niveau intermédiaire de la Tamina devait correspondre à un maximum de débit et

de température, et il y avait, par suite, intérêt à rendre ce niveau constant (*). Cette circonstance, venant s'ajouter à l'influence prépondérante de la fonte des neiges sur les montagnes voisines, ne paraît pas avoir spécialement attiré l'attention des ingénieurs ; mais ils se sont trouvé faire précisément le nécessaire pour d'autres motifs en régularisant, dans la mesure du possible, le niveau de la Tamina.

Ce qui frappa surtout en 1858, c'est cette énorme perte d'eau minérale dans le torrent ; on ne pouvait évidemment songer à aller boucher des fissures que la pression ascendante de l'eau thermale aurait immédiatement réouvertes, là ou à côté; d'ailleurs, l'expérience montrait que la pression de la hauteur d'eau de la Tamina appliquée sur ces veines thermales était généralement impuissante à les contenir. Restaient donc deux méthodes : ou bien, par un forage sur la rive, aller recouper la fissure au-dessous de la Tamina et recueillir ainsi toutes les sources dans un seul puits, sur lequel on aurait placé des pompes mues par une roue hydraulique ; ou bien, après avoir mis la Tamina à sec, aller capter les sources dans le lit du torrent ; c'est cette dernière solution qu'on adopta.

Aux basses eaux de l'hiver 1858-59, on construisit un chenal en bois pour détourner le torrent, dont le lit fut mis à sec et débarrassé des galets qui l'encombraient. On constata alors que la fente, de 200 mètres de profondeur, où coule la Tamina, ne se prolongeait pas au-dessous de son lit et n'était pas, par suite, une fracture géologique ancienne (faille ou filon), remplie par les matériaux charriés, mais, au contraire, que, sur la cuvette formée par les deux parois rejointes en profondeur, à 8 mètres au-

(*) Ce sont des observations de ce genre qui ont donné lieu aux beaux travaux de captage de M. François, à Ussat, et à la méthode générale qu'il a appelée celle des pressions hydrostatiques réciproques.

dessous de la surface de l'eau, le torrent avait commencé le travail de sciage et d'érosion qui le fait descendre peu à peu. On reconnut également l'existence d'une fissure transversale incrustée d'un dépôt calcaire et jalonnée par les sources qui en sortent par de petits trous ronds.

Ces sources ayant été découvertes, l'ingénieur Hefti les capta dans un massif de maçonnerie, formant un radier au torrent; l'eau fut recueillie dans deux conduites verticales *cc'*, *dd'* sur la rive droite, deux également *ee'*, *gg'* sur la rive gauche, chacune de ces conduites montant jusqu'au niveau général de captage *i*, où les sources de la rive droite, seules utilisées jusqu'ici, se déversaient dans la conduite d'écoulement; en outre, ces conduites verticales furent munies de déversoirs à deux niveaux inférieurs, pour le cas où l'eau tarirait au niveau le plus élevé. Ce travail fait, on recouvrit le radier d'un lit de gros blocs et de sable (*) et, pour le protéger contre l'action destructive du torrent en régularisant le niveau de celui-ci, on construisit un barrage dans la Tamina à quelques mètres à l'amont.

Mais ce travail était loin de suffire; en effet, le suintement naturel de ces sources au fond de la Tamina étant à $6^m,30$ au-dessous de la buvette, il est évident que ces sources ne pouvaient fournir qu'un appoint, au moment où leur force ascensionnelle se trouvait être la plus élevée (**). Aussi on s'appliqua, au début de l'automne 1860, à capter les veines d'eau constatées sur la rive droite à la Herrenquelle, le Kessel restant indépendant (voir le plan, Pl. IV, *fig.* 2).

A cet effet, on fit, au niveau général de captage *i*,

(*) Voir, Pl. IV, *fig.* 1.

(**) Les bains de Ragatz étant très sensiblement au-dessous de ceux de Pfæfers et au-dessous des sources les plus basses, pourraient, à la rigueur, être desservis, par elles (au besoin, par un siphon); mais on n'y a pas eu recours.

4 mètres au-dessous du Kessel, sur la rive droite, un travers-bancs T, dirigé à peu près suivant la fissure thermale, vers le griffon présumé de la Herrenquelle. Dès qu'on s'engagea dans cette galerie, on eut de petites venues chaudes. Vers le 20 septembre, on recoupa une veine latérale de la Herrenquelle, environ aux trois quarts de la longueur actuelle. Le travail dans l'eau chaude était très pénible. Enfin, à la fin de septembre, le pic donna dans une cavité (G) d'où une masse d'eau chaude s'échappa, faisant fuir les ouvriers. Le niveau baissa assez vite jusqu'en *i*, on put élargir l'ouverture et l'on reconnut la grotte G de $3^m,30$ de diamètre et 13 mètres de haut au-dessus du tunnel, sorte de réservoir naturel qui alimentait le Gumpen, la Herrenquelle et accidentellement, dans les moments de fort débit comme en 1855, l'ouverture supérieure V. Cette grotte présentait des indices très nets d'érosion, montrant que le torrent l'avait creusée jadis par en haut, et, notamment, des galets de plus de 15 centimètres de diamètre. A partir de ce moment, cette source du tunnel, Stollenquelle (*), devint la principale de Pfæfers et toutes les petites sources latérales diminuèrent, quoique le total ait notablement augmenté, comme le montre le tableau suivant qui se rapporte à l'époque des travaux :

(*) La vue des sources (Pl. IV, *fig.* 3) montre : en T, l'entrée de la galerie de la Stollenquelle, en K, celle du Kessel; sur la droite, on aperçoit, en contre-bas, la Tamina.

JOURS d'observations	KESSEL	HERREN-QUELLE	SOURCES au pied de la rive droite	SOURCES de la rive gauche	SOURCES du tunnel	ENSEMBLE litres par minutes
	litres	litres	litres	litres	litres	
1859. 6 mai. . .	2.180	»	1.200	142	»	3.522
— 14 juin. . .	3.440	»	1.540	176	»	5.156
— 28 juillet. .	3.000	»	1.332	168	»	4.500
— 21 oct. . . .	910	»	310	74	»	1.254
1860. 6 mai. . .	916	»	856	102	»	1.874
— 2 juin. . .	3 450	»	1.500	182	»	5.132
— 28 juin. . .	5.656	706	1.714	230	»	8.306
— 22 sept. . .	4.666	332	1.710	220	2.000	8.928
— 9 oct. . . .	3.000	»	1.280	160	10.680	5.120

Les eaux, ainsi recueillies, sont conduites jusqu'aux bains de Pfæfers par de gros tuyaux de fonte scellés dans la pierre. De Pfæfers à Ragatz, on emploie le bois, qui doit occasionner une perte de chaleur moindre. Les anciennes conduites étaient formées de troncs creusés suivant l'axe et d'un diamètre intérieur d'environ $0^m,18$, les joints étant garnis de lames de tôle ; aujourd'hui, on emploie de préférence des conduites artificielles formées de plusieurs pièces de bois assemblées, comme le montre la coupe *fig.* 5, Pl. IV, à la façon des douves d'un cuvelage, avec cercles de fer tous les cinquante centimètres (*).

(*) Dans une autre source de la même région, à Stachelberg, dans le Linththal, les conduites qui amènent l'eau des bains sont en tôle de fer (Pl. IV, *fig.* 4), chaque conduite ayant $1^m,40$ de long avec un diamètre alternativement de $0^m,45$ et $0^m,50$ pour permettre l'emboîtement et, tous les 7 mètres, un joint de dilatation.

BIBLIOGRAPHIE (*)

1849. — **Rüsch.** — *Das Bad Pfæfers in seiner neuesten Gestalt.*

1857. — **A. Vogt.** — *Der Kursort Hof-Ragatz.*

1860. — **Dr Meyer-Ahrens.** — *Die Heilquellen der Schweiz.*

1861. — **Ziegler.** — *Die Mineralquelle Pfæfers* (Soc. des sc. nat. de Zurich. Winterthur, Verl. von Joh. Wurster). Cette brochure est la seule, à notre connaissance, où l'on trouve quelques indications sur le captage.

1868. — *Perfectionnements introduits dans ces dix dernières années à l'établissement thermal de Ragatz* (en allemand) ; (Saint-Gall, Scheitlin et Zollikofer).

1869. — **Dr Kaiser.** — *Die Thermal-Quellen Ragatz-Pfæfers.*

1876. — **Heim.** — Mechanismus der Gebirgsbildung, t. I, p. 126 à 246 et 320.

1880. — **Kaiser Flavia.** — Ragazt-Pfæfers.

1880. — **Gsell Fels.** — *Bains et stations climatériques* (en allemand).

1885. — **Dr Jäger.** — Guide à Ragatz-Pfæfers.

1888-89. — **Heim.** — Einige Worte zur Geologie des Clubgebietes (Jahrb. des Schw. Alpen Clubs, p. 247).

1891. — **Heim.** — Geologie der Hochalpen zwischen Reuss und Rhein.

(*) Nous ne citons que les descriptions récentes. Depuis celle de Paracelse jusqu'en 1785, on en compte déjà 39.

NOTE

SUR LES

BOITES A HUILE A DOUBLES PLANS INCLINÉS

ET

L'ATTELAGE CONVERGENT DES LOCOMOTIVES

POUR VOIES A PROFIL ACCIDENTÉ

Par M. ERNEST POLONCEAU,
Ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Cie d'Orléans.

Lorsqu'un train passe dans une partie courbe de la voie, la tendance de la locomotive à suivre la ligne droite, la raideur des attelages et diverses autres causes, ont pour effet de déterminer, sur le rail extérieur de la voie, une pression latérale exercée par le boudin de la roue d'avant de la locomotive.

Dans les courbes de faible rayon, cette pression devenant très grande, le passage de la locomotive ne s'effectue qu'avec difficulté si les essieux n'ont pas un déplacement latéral suffisant ou ne convergent pas vers le centre de courbure de la voie : celle-ci se détériore et l'usure des boudins des roues d'avant est rapide et force à retourner les bandages bien avant que l'usure de la surface de roulement en nécessite le rafraîchissage.

Pour faciliter le passage des locomotives dans les courbes, on a d'abord employé l'osselet qui s'incline par

le déplacement de l'essieu à l'entrée en courbe et est ramené dans la position verticale par le poids de la machine quand on rentre en partie droite.

Ce dispositif ayant le défaut de reposer sur de très petites surfaces pendant qu'il est incliné et de diminuer d'énergie au fur et à mesure que le déplacement augmente, la compagnie d'Orléans, la première, a appliqué pour le remplacer une disposition consistant à placer entre les coussinets et les boîtes, des plans inclinés qui permettent aux essieux de se déplacer latéralement et les forcent à revenir dans leur position normale lorsque la machine quitte la partie de voie en courbe, tout en présentant une très grande surface de contact et une énergie constante. Mais cette disposition simple, qui donne de très bons résultats et a reçu de nombreuses applications, ne suffit pas pour les courbes de très faibles rayons parce que, dans de telles courbes, l'angle du cisaillement qui se produit entre les boudins des roues d'avant et le rail est très important et donne lieu à une usure rapide des boudins et des rails.

Pour éviter ces inconvénients, il faut donc réduire l'angle du cisaillement en faisant converger, autant que possible, l'axe de rotation de l'essieu d'avant vers le centre de courbure de la voie.

Dans ces conditions, pour faire le service sur les lignes du Plateau central de la France, entre Clermont, Tulle, Limoges et Montluçon, qui ont de nombreuses courbes de 250 mètres de rayon avec un profil très accidenté présentant des rampes de 20 à 25 millimètres par mètre, on fut amené, à la compagnie d'Orléans, à munir les locomotives à six roues accouplées et à roues porteuses d'avant, établies spécialement pour ces lignes, du système de boîtes à huile à doubles plans inclinés décrit ci-dessous, qui est léger, simple, relativement peu coûteux à installer et présente l'avantage de faire rayonner

automatiquement l'essieu autour du centre de courbure de la voie.

Les *fig.* 5 à 7, Pl. V, représentent ces boîtes et les *fig.* 1 et 2 indiquent leur disposition sur la locomotive.

Le mouvement des deux systèmes de plans inclinés se faisant à l'angle droit permet à l'essieu de se déplacer suivant le sens transversal de la machine en même temps que chacune de ses extrémités peut se déplacer suivant le sens longitudinal pour sa convergence automatique vers le centre de la courbe.

Cette convergence est déterminée par la différence des chemins parcourus par les deux roues, qui résulte de la conicité des bandages : en effet, la roue dont le boudin se rapproche du rail, présentant au cercle de roulement en contact avec le rail, par suite de la conicité donnée aux bandages, un développement plus grand que la roue opposée, entraîne à l'entrée en courbe le coussinet vers l'avant, tandis que l'effet contraire se produit à l'autre roue et l'angle du cisaillement se trouve ainsi réduit ou même annulé.

Ces plans inclinés limitent les déplacements dans les sens transversal et longitudinal de l'essieu d'avant dans les courbes et ramènent automatiquement cet essieu à la position normale, dans les parties droites de la voie.

L'inclinaison des plans est de 12 p. 100 dans les deux sens et les jeux de chaque côté de l'axe sont de 12 millimètres dans le sens perpendiculaire aux longerons et de 10 millimètres dans le sens de la longueur des longerons.

Pour rendre plus efficace l'application de ces boîtes à doubles plans inclinés qui réduisent l'angle du cisaillement, la compagnie d'Orléans applique, entre la locomotive et le tender, un attelage convergent qui a pour but, comme les anciens attelages à balanciers, de diminuer la pression exercée latéralement par le boudin de la roue

d'avant de la locomotive sur le rail extérieur de la voie, mais qui a sur ceux-ci l'avantage d'être beaucoup plus simple et plus facile à appliquer.

Cet attelage convergent, avec lequel on réalise indirectement l'attelage de la locomotive par son centre, ce qui facilite son déplacement transversal par rapport au tender, est représenté par les *fig.* 3 et 4 de la Pl. V, dont les *fig.* 1 et 2 indiquent la disposition sur la machine ; il se compose spécialement d'un guide circulaire dont le centre de courbure est situé sur la verticale du centre de gravité de la locomotive et d'un galet qui peut se déplacer librement sur ce guide et qui sert de point d'attache au tendeur.

L'attelage proprement dit comporte un tendeur à vis, un ressort de traction à lames, placé sur le tender et deux tampons à ressorts en spirale, fixés au tender et en contact avec les deux tampons secs de la locomotive.

Les surfaces de ces tampons sont inclinées tangentiellement à celle d'un cylindre ayant pour axe la verticale du centre de gravité de la machine et par conséquent le même centre de courbure que l'attelage convergent.

Le tendeur à vis est relié, d'un bout, au galet par deux bielles et de l'autre à la bride du ressort à lames ; il est muni d'une clef à rochet qu'on peut actionner avec un long levier pour serrer l'attelage à une tension initiale d'environ 5.000 kilogrammes.

Pour se rendre compte des avantages obtenus par l'emploi des boîtes à doubles plans inclinés et de l'attelage convergent, on a fait le relevé de l'usure des boudins des roues d'avant des machines munies de ces appareils ainsi que de celles munies des boîtes à simples plans inclinés et de l'attelage ordinaire qui font absolument le même service.

Par ce relevé, en prenant les épaisseurs du boudin à 20 millimètres du sommet, on a constaté qu'avec les

boîtes à simples plans inclinés l'usure des boudins est de 6 millimètres et demi en moyenne pour un parcours de 10.000 kilomètres, tandis qu'avec les boîtes à doubles plans inclinés cette usure est nulle, à 20 millimètres du sommet, à la fin du même parcours de 10.000 kilomètres et est, en moyenne, de :

0mm,5	pour un parcours de	20.000	kilomètres.
1mm,5	id.	30.000	—
2mm,0	id.	40.000	—
4mm,0	id.	50.000	—

Ces diverses usures sont indiquées dans les *fig.* 10 et 11, Pl. VI, par les profils en pointillé ainsi que les usures de la surface de roulement.

Après le parcours moyen de 50.000 kilomètres indiqué ci-dessus, les roues d'avant munies de plans inclinés doubles ont une usure de 5 millimètres, dans l'axe de la surface de roulement, qui nécessite leur rafraîchissage, d'après les instructions en usage et, d'autre part, l'usure de 6 millimètres et demi du boudin des roues munies de plans inclinés simples nécessite aussi le rafraîchissage afin d'enlever le moins de matière possible, soit 10 millimètres sur la surface de roulement et cela après un parcours de 10.000 kilomètres : il s'ensuit donc que l'emploi des doubles plans inclinés permet de faire effectuer un parcours au moins cinq fois plus grand aux bandages avant leur rafraîchissage.

Il résulte de ce qui précède que les bandages, avec l'emploi des plans inclinés simples et de l'attelage ordinaire effectuent, avant le désembattage, un parcours total d'environ 50.000 kilomètres pendant lequel ils subissent quatre rafraîchissages, tandis qu'avec l'emploi des plans inclinés doubles et de l'attelage convergent, ils fournissent (par au moins cinq rafraîchissages et l'usure subséquente) un parcours total avant désembattage d'au

moins 300.000 kilomètres, *soit au moins six fois plus grand.*

Enfin, la *fig.* 11, Pl. VI, fait constater que les bandages des roues d'avant, avec l'emploi de ces nouveaux dispositifs, ne s'usent pas plus vite, par le fait de l'usure des boudins, sur des voies à nombreuses courbes de 250 mètres de rayon que sur des voies à courbes de grands rayons.

Des expériences ont été entreprises pour rechercher quelle influence relative pouvaient avoir l'attelage convergent et les boîtes à deux paires de plans inclinés sur les bons résultats obtenus par leur emploi.

Elles ont été faites entre Ussel et Clermont, les 22 et 23 mars dernier, avec la machine n° 1831 dont le parcours était de 3.000 kilomètres depuis la pose des bandages et dont ceux-ci pouvaient être considérés comme neufs, et la machine n° 1821 dont le parcours, depuis le dernier rafraîchissage était de 35.754 kilomètres et dont les bandages avaient seulement 37 millimètres d'épaisseur au lieu de 75 millimètres et des boudins fortement usés.

Les profils de ces bandages sont indiqués par les *fig.* 8 et 9, Pl. VI, dont les lignes en pointillé indiquent l'usure.

Pour faire ces expériences, on a installé tour à tour et fait fonctionner en même temps, sur chacune de ces machines, deux appareils : l'un, avec mouvement d'horlogerie inscrivant automatiquement sur un rouleau de papier, les déplacements longitudinaux des coussinets, l'autre inscrivant les déplacements transversaux de l'axe du galet de l'attelage convergent.

Pour le premier appareil, on a fixé à chaque extrémité, sur le centre de l'essieu d'avant, comme l'indiquent les *fig.* 1 à 3, Pl. VI, un boulon sphérique actionnant une bielle horizontale qui, au moyen de leviers d'équerre et d'une deuxième bielle verticale, transmet à

un crayon mobile en laiton, en les quadruplant, tous les mouvements de l'extrémité de l'essieu. Ce crayon frotte sur une bande de papier recouverte d'une couche de sulfate de zinc et qui se déplace transversalement au moyen de l'appareil d'horlogerie fixé à gauche de la boîte à fumée.

Un autre crayon fixe trace une ligne de base correspondant à la position moyenne de l'essieu en même temps que le crayon mobile trace les déplacements horizontaux de l'extrémité de l'essieu suivant le sens longitudinal de la machine. Afin que les tracés de droite et de gauche ne se confondent pas, le crayon fixe et le crayon mobile du côté gauche ont été placés dans la moitié arrière de la feuille de papier et les crayons de droite dans la moitié avant.

Les différents tracés relevés avec cet appareil sont analogues au tracé de la *fig.* 4, Pl. VI.

Ces tracés se présentent toujours dans le même sens par rapport à la ligne de base pour toutes les courbes placées d'un même côté de l'axe de la voie.

Les contours ont varié comme amplitude et nombre de positions extrêmes suivant la courbure de la voie; mais le déplacement de la roue de gauche a toujours été sensiblement égal à celui de la roue de droite du même essieu et la direction produite par le double tracé correspond bien à l'orientation de l'essieu vers le centre de la courbe.

Ces expériences démontrent donc, que : *L'essieu d'avant prend dans les courbes une position radiale et que les doubles plans inclinés fonctionnent très régulièrement.*

Il n'a pas été possible de tirer, des graphiques obtenus dans ces expériences, des conclusions exactes quant à l'amplitude des déplacements de l'essieu par rapport aux variations des rayons de courbure, aux vitesses des trains et à la nature du profil (pente ou rampe); toutefois, on remarque que, pour la machine n° 1821, dont les boudins et la surface de roulement sont fortement usés, l'amplitude des déplacements de l'essieu d'avant a presque toujours été voisine du maximum dans les diverses courbes. L'examen des tracés montre aussi, d'une façon nette, que l'essieu d'avant est très mobile et que les nombreuses oscillations enregistrées doivent être principalement dues aux irrégularités de courbures des rails, aux joints et autres défectuosités de la voie.

L'appareil d'enregistrement des déplacements du galet de l'attelage convergent est représenté par les *fig.* 5 à 7, Pl. VI; il comporte une bielle reliée au galet par un goujon fixé au centre de l'axe de ce galet sur sa partie supérieure et qui commande, par un levier, un arbre vertical placé le long de la rampe et actionnant un crayon qui trace, en les amplifiant, sur une bande de papier, les mouvements du galet ; un autre crayon fixe trace une ligne de base correspondant à la position normale de ce galet. L'examen des tracés obtenus à l'aide de cet appareil montre que le galet de l'attelage convergent se déplace bien, en passant dans les courbes, vers le centre de celles-ci et que, par conséquent, son emploi diminue la pression des boudins d'avant sur le rail extérieur.

On peut donc conclure de ce qui précède que la combinaison de l'attelage convergent et des boîtes à doubles plans inclinés, a eu pour résultat de diminuer notablement l'usure des boudins des roues d'avant et d'augmenter la durée des rails tout en atténuant la fatigue de la voie.

APERÇU GÉNÉRAL

SUR L'INDUSTRIE MINÉRALE

DE LA RUSSIE

Par M. A. DE KEPPEN, Membre du Conseil général des mines de Russie.

Introduction.

Aperçu historique sur les modifications successives apportées à l'organisation administrative et législative des mines en Russie. — Les débuts d'une industrie minérale régulière en Russie ainsi que les premières mesures d'encouragement de la part du gouvernement ne remontent pas au delà du XVII[e] siècle.

Quelques essais d'industrie minérale et de travail du sel avaient bien eu lieu en Russie et en Sibérie dès les époques les plus reculées, mais ce n'est réellement qu'au temps de Pierre le Grand qu'ont été installées de vraies usines, et qu'a été instituée la première administration spéciale chargée de gérer cette industrie sous le nom de *Bureau des affaires minières.*

Vers la fin de l'année 1719, fut fondé un *Berg-Collegium* ou administration collégiale des mines, des usines métallurgiques et de l'artillerie; et au même moment un oukase de Pierre le Grand, du 10 décembre 1719, posa les premières bases d'une législation des mines en Russie;

il est connu sous le nom de *Berg-Privilegium* (privilèges de l'industrie minière), et a servi de point de départ pour toutes les lois et tous les règlements parus depuis lors. Le *Berg-Privilegium* donnait pleine liberté à l'industrie minérale en Russie et accordait le droit d'explorer les minerais dans les terres de l'État et des propriétaires privés, sans même qu'il fût nécessaire de demander leur autorisation. Le droit d'expropriation des terrains pour des mines et des usines entraînait pour l'entrepreneur l'obligation de payer au propriétaire une redevance de 1/32 des bénéfices obtenus, plus une indemnité spéciale pour le terrain occupé par les mines et les usines et pour le bois consommé pour les besoins de l'entreprise. Les ouvriers occupés dans l'industrie minérale étaient libres de tout impôt et même exempts du service militaire.

Comme conséquence de cet établissement du droit régalien sur toutes les richesses minérales, Pierre le Grand établit, au profit de l'État, un impôt de 1/10 de la valeur de tous les produits obtenus.

Dès l'année suivante, en 1720, Pierre le Grand fit paraître des oukases destinés : l'un à empêcher qu'aucune personne ne suscitât quelque entrave au développement de l'industrie minérale, et l'autre à attirer les étrangers et les amener à venir en Russie faire progresser cette branche d'industrie.

Les aides les plus dévoués de Pierre le Grand dans les travaux qu'il entreprit pour multiplier les mines et usines dans différentes parties de la Russie (dans le gouvernement de Toula, à Olonetz et dans les monts Ourals), furent : le saxon William de Guennine, M. Tatichtev et le forgeron Nikita Demidoff.

De Guennine fonda, entre autres, la ville d'Ekaterinbourg et y établit la première école des mines de Russie.

Les soins prodigués jusqu'à sa mort par le grand réformateur au développement de cette industrie et à

l'organisation d'une bonne administration minière, donnèrent un fondement solide à la prospérité de cette importante branche de l'industrie nationale.

Malheureusement, les droits accordés à l'industrie minière par le *Berg-Privilegium* ne reçurent pas les développements ultérieurs nécessaires et l'industrie minière ne jouit pas, dans la suite, des avantages sur lesquels on aurait pu compter, comme conséquence naturelle, de ces premiers privilèges.

Ces droits ne restèrent même en vigueur que pendant environ 60 ans et, durant cette période, le *Berg-Privilegium* fut plusieurs fois amendé et modifié.

Ainsi, un oukase de 1727, promulgué par l'impératrice Catherine Ire, eut pour but de faciliter la fondation des entreprises minières dans les contrées les plus éloignées de l'empire et notamment en Sibérie.

Mais déjà, sous le règne de l'impératrice Anne, l'administration des mines fut, une première fois, complètement modifiée. En 1736, le *Berg-Collegium* fut aboli et, pour gérer les affaires de l'industrie minérale, fut créé un bureau spécial sous le nom de *Berg-Directorium*, dont le premier directeur fut le saxon baron de Chëmberg, placé à ce poste par l'influence toute-puissante de Biron. La réorganisation fut complétée en 1739, par un nouvel oukase intitulé: *Règlement des mines*. Un des points caractéristiques de ce règlement etait la remise à des particuliers de la direction de toutes les usines d'État — sauf la montagne *Blagodat*, dans l'Oural, et les mines de cuivre en Laponie. — La gestion des mines de fer de la montagne de Blagodat fut confiée au baron de Chëmberg lui-même. Pendant la période d'existence du *Berg-Directorium*, les usines, exploitées par les entrepreneurs particuliers, tombèrent en complète décadence; aussi l'impératrice Élisabeth fut-elle, en 1772, amenée à supprimer le *Berg-Directorium* et à revenir à l'organisation créée par Pierre

le Grand, c'est-à-dire à rétablir l'ancien *Berg-Collegium*. La découverte de l'or, près d'Ekaterinbourg, dans les mines de Berezovsk et l'exploitation de l'or argentifère dans les montagnes de l'Altaï, aux usines de Demidoff, qui furent saisies dès lors par le gouvernement, tels sont les faits les plus remarquables de l'industrie minière pendant le règne de l'impératrice Élisabeth.

La création d'une école des mines à Saint-Pétersbourg fut un progrès dont l'idée remonte au règne de cette impératrice, mais dont la réalisation n'eut lieu que sous le règne de la grande Catherine, en 1773.

En 1775, l'administration des affaires minières en Russie fut l'objet d'une nouvelle transformation. Peu après l'institution des gouvernements, fut publié un oukase qui remit la gestion des affaires minières à des bureaux spéciaux annexés aux chambres des finances. Cette mesure eut pour conséquence la plus complète décadence des usines et surtout de celles de l'Oural.

L'impératrice Catherine II, par le manifeste du 28 juin 1782, fit subir également à la législation minière une transformation radicale, en un sens entièrement contraire aux principes posés par Pierre le Grand. Cet acte déclara que la propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous, ainsi que de tous les produits que le propriétaire peut tirer de son terrain. Les points principaux de ce manifeste sont encore en vigueur jusqu'à nos jours.

Déjà vers la fin du règne de Catherine la Grande, les résultats peu satisfaisants obtenus par le mode de gestion adopté pour les usines nécessitèrent des changements partiels dans l'administration minière et décidèrent l'empereur Paul Ier, dès la première année de son règne, à rendre à ce service son indépendance par le rétablissement du *Berg-Collegium*.

Grâce à l'initiative du directeur de cette administration, M. Soimonoff, furent envoyées, sous le règne de l'empe-

reur Paul, des expéditions pour l'exploration de nouveaux gisements et l'étude de la Russie sous le rapport des richesses minérales.

Quand, sous le règne de l'empereur Alexandre Ier, en 1802, furent fondés les ministères, le *Berg-Collegium* fut rattaché au ministère des finances, et bientôt après, en 1806, cette administration fut abolie et remplacée par le *Département des mines*.

Parmi les membres de la direction des mines du temps d'Alexandre Ier, il faut citer M. Dériabine qui rédigea un *Projet de règlement minier*, qui parut le 13 juin 1806. On avait l'intention de mettre ce projet à l'essai pendant une période de 5 ans, de 1807 à 1812; à l'expiration de cette époque, il devait être revu et sanctionné définitivement, mais les événements de cette époque retardèrent cette revision; le règlement resta en vigueur jusqu'au moment de la publication de la première édition du Code des lois, et il lui fut adjoint sous le nom de *Règlement des mines*.

En 1811, l'administration générale des salines fut, à son tour, remise au département des mines. En 1825, à l'époque où le comte Kankrine se trouvait à la tête du ministère des finances, fut commencée, sous l'impulsion de M. Karneeff, la publication du *Journal des mines*, à titre de recueil de notes et renseignements sur les affaires et questions relatives à l'industrie minérale et aux salines de l'empire.

Pendant le règne de Nicolas Ier, l'industrie minérale fit de grands progrès tant au point de vue scientifique qu'au point de vue technique et administratif. De nombreuses explorations furent exécutées dans les différentes parties de l'empire. C'est ici qu'il faut citer : le voyage scientifique de MM. Alexandre de Humboldt, Gustave Rose et Ehrenberg, entrepris en 1829 sous les auspices de l'empereur Nicolas Ier, et dirigé dans les monts de l'Oural et de l'Altaï; les explorations géologiques du savant anglais

M. Murchison avec le paléontologiste français M. de Verneuil et le comte Kayserling, qui étudièrent chacun, au point de vue de leur spécialité, toute la Russie d'Europe et les monts de l'Oural ; l'expédition de M. Demidoff, au sud de la Russie, expédition dirigée par M. F. Le Play; les recherches de M. Dubois de Montpéreux au Caucase et en Crimée, et de M. Tchihatcheff dans les monts de l'Altaï. C'est à la même époque que se rapportent les études des géologues russes : MM. Chtourovsky, Eichwald, Helmersen, Hoffmann et autres.

Les réformes radicales, exécutées par l'empereur Alexandre II, ne pouvaient rester sans influence sur l'industrie minérale. La principale de ces réformes — l'abolition du servage, en 1861 — provoqua une transformation complète dans l'industrie minérale et métallurgique en Russie, transformation dont les conséquences actuelles et futures dépassent de beaucoup toutes les modifications antérieurement apportées à la législation minière. La suppression du travail obligatoire des serfs, qui était la base de toute l'organisation industrielle et minière en Russie, devait nécessairement entraîner une transformation radicale de la situation économique comme aussi de la position sociale de la classe ouvrière. Le nouvel état de choses imposait des modifications sérieuses à la ligne de conduite de l'administration minière. Jusqu'en l'année 1861, l'administration minière dirigeait directement le travail de la nombreuse population ouvrière employée dans les mines et usines de l'État, et elle devait en même temps surveiller les relations des propriétaires privés avec leurs ouvriers serfs. Un pareil état de choses ne permettait pas à l'administration minière de se renfermer dans son rôle spécialement industriel et l'obligeait, au contraire, à intervenir dans bien des questions qui sont plutôt du ressort du gouvernement général de l'empire. C'est ainsi que l'administration minière avait sa propre police, ses

tribunaux, ses écoles, ses hôpitaux, ses églises et même sa propre poste. Après l'abolition du servage et du travail obligatoire de la classe ouvrière, ce cumul de fonctions administratives n'avait plus de raison d'être; et ce n'est que depuis cette époque, que l'administration minière a pu enfin spécialiser ses fonctions.

Les mesures les plus graves prises, sous le règne de l'empereur Alexandre II, dans la sphère de l'administration minière, sont les suivantes : introduction de l'accise sur le sel et, par suite, disjonction de ce vaste service financier, désormais distinct du département des mines; séparation de l'hôtel des monnaies de l'administration minière; extension du contrôle du département des mines sur l'industrie du pétrole, après l'abolition du système de fermage pour l'exploitation des terrains pétrolifères appartenant à l'État.

Parmi les mesures prises dans le domaine de la législation spécialement minière, peuvent être cités : 1° la promulgation, en 1870, d'un règlement pour l'exploitation privée des gites aurifères ; ce règlement, qui précise avec détails le mode de cette exploitation, avait pour but de faciliter et de développer l'exploitation des gites aurifères ; 2° la promulgation de la liberté entière d'exploitation du pétrole avec loi spéciale relative à cette industrie; 3° l'attribution de privilèges spéciaux pour la production du soufre extrait des pyrites ; 4° l'abandon du monopole du sel et son remplacement par la pleine liberté de son exploitation et de sa vente, et après, en 1862, l'introduction de l'accise sur cette industrie ; 5° la promulgation, en 1870, d'une nouvelle législation minière pour la Pologne, législation qui remit en vigueur le principe de la séparation du sol et du tréfonds et l'expropriation obligatoire du tréfonds pour l'exploitation des principales richesses minérales du pays (la houille, la calamine et les minerais de plomb); et 6° la fondation d'un corps d'ingénieurs des mines d'arrondissement chargés de l'inspection de l'industrie minière privée.

Sous le règne d'Alexandre II, le système des impôts miniers fut soumis à un nouvel examen, qui eut pour conséquence un abaissement général de ces impôts et même l'abolition de quelques-uns d'entre eux.

Dès 1874, l'administration générale des affaires de mines fut transférée du ministère des finances au ministère des domaines.

Les recherches géologiques et l'exploration des gîtes minéraux ont été poursuivies sur une grande échelle sous le règne d'Alexandre II. Ces recherches et ces explorations, qui ont eu lieu sur une immense étendue, notamment des frontières de l'Allemagne et de l'Autriche jusqu'à l'Océan Pacifique et à l'île Sakhalin, et de l'Océan Boréal jusqu'au Sud du Caucase et jusqu'au Centre de l'Asie, le Pamir encore presque inconnu, ont eu nécessairement une importance réelle pour la science, ainsi que pour le développement de l'industrie minière dans le pays. Les gisements de houille et de sel, les sources de pétrole et les gîtes de minerais de fer du Sud de la Russie ont été l'objet d'études tout à fait spéciales.

Enfin il faut encore mentionner que, sous le règne de l'empereur Alexandre II, ont été autorisées les assemblées périodiques des représentants de l'industrie minière et métallurgique, tenues dans les divers centres de cette industrie en Russie pour délibérer sur leurs besoins tant généraux que particuliers.

Depuis l'année 1881, des changements essentiels ont encore été introduits dans l'administration et dans la législation minière. L'abolition de l'accise sur le sel et l'exclusion de cette denrée du domaine des finances élargirent sensiblement l'activité de l'administration générale des mines. La création de nouveaux bureaux miniers de district dans les parties occidentales et orientales

de la Sibérie et au Sud de la Russie, ainsi que des modifications des administrations minières au Caucase et dans l'Oural, étendirent les pouvoirs et les droits de ces administrations. De plus, la loi destinée à régler les rapports entre patrons et ouvriers, dans l'industrie en général, a été étendue aux mines et usines.

Parmi les mesures législatives, doivent être cités : 1° la revision de la loi minière en vigueur en Pologne depuis 1870, revision qui avait pour but d'étendre aux gîtes de minerais de fer le droit d'expropriation du tréfonds, déjà accordé pour la houille, la calamine et les minerais de plomb ; 2° la promulgation d'une nouvelle loi sur l'industrie du pétrole ; 3° l'institution d'impôts sur les métaux produits en Pologne : la fonte et le zinc ; 4° le rétablissement de l'impôt sur la production de l'or avec toutes les facilités possibles pour le payement de cet impôt ; 5° la promulgation d'une loi pour la conservation des sources thermales, et enfin, 6° la promulgation d'une loi relative, d'une façon spéciale, aux exploitations minières privées ouvertes sur des terrains de l'État, qui, par leur étendue, ont en Russie une grande importance ; actuellement encore ces exploitations restent soumises au principe de la *liberté minière* promulgué par Pierre le Grand.

Les résultats si brillants, tant au point de vue scientifique qu'au point de vue pratique, produits par les travaux méthodiques des divers instituts géologiques créés en Europe et aux États-Unis, engagèrent le gouvernement russe à fonder, à son tour, un institut spécial pour l'étude suivie de la structure géologique du sol du pays ; cet institut, sous le nom de *Comité géologique*, fut fondé en 1882. Le but essentiel du *Comité* est la préparation d'une carte géologique générale de toute la Russie et d'une description systématique du pays. Les travaux exécutés jusqu'à présent par le Comité géologique ont

notablement changé les idées qu'on se faisait de la structure géologique du pays et ont déjà donné des résultats pratiques.

Exposé de l'organisation administrative et législative actuelle des mines en Russie. — Après cet aperçu historique sur les modifications successives qui ont eu lieu dans l'administration comme aussi dans la législation minière de la Russie depuis le règne de Pierre le Grand, nous donnerons maintenant un exposé de l'organisation administrative et de la législation minière telles qu'elles existent actuellement.

L'administration générale minière en Russie (excepté la Finlande) est concentrée principalement au Ministère des Domaines et spécialement dans le Département des mines. Il n'existe de régime exceptionnel que pour l'industrie minière du pays des cosaques du Don, qui est administré par le Ministère de la guerre, en commun avec l'administration générale de ce pays, et pour les usines des arrondissements de l'Altaï et de Nertchinsk en Sibérie, qui sont du ressort du *Cabinet de Sa Majesté*, et font par conséquent partie du Ministère de la Cour Impériale. Notons ici, qu'en Russie, sous le nom d'industrie minière, on comprend non seulement l'industrie extractive, mais aussi l'industrie métallurgique, de sorte que, dans la sphère de l'administration générale des mines, sont comptés l'exploitation des mines, minières et carrières, et de plus le traitement mécanique, métallurgique et chimique des minerais et autres produits minéraux, sauf la fabrication du pétrole, qui est du ressort du Ministère des finances.

Les *usines de l'État* sont groupées par arrondissements dont chacun a son chef particulier. Le nombre de ces arrondissements est de 6, dont : 4 dans les monts Ourals, 1 au nord de la Russie, le district d'Olonetz, et 1 en

Pologne. La gérance générale des usines de l'État dans l'Oural se trouve entre les mains d'un chef général des mines, qui est chargé aussi de la surveillance de l'industrie minière privée située dans les limites de la même région.

Les *usines privées*, les *mines*, les *charbonnages* et *autres établissements miniers* se trouvent sous la surveillance des ingénieurs d'arrondissement, qui sont au nombre de 8 dans la région des monts Ourals, de 4 au sud de la Russie, de 2 dans la Russie centrale, de 3 en Pologne, de 1 pour les gouvernements du Nord, de 4 au Caucase, de 6 dans la Sibérie occidentale et de 6 dans la Sibérie orientale. Les ingénieurs d'arrondissement représentent le premier degré de l'administration minière et ils sont chargés de la surveillance directe des usines, mines et autres entreprises minières.

Dans quelques parties de la Russie, les ingénieurs d'arrondissement se trouvent sous les ordres des bureaux d'administration minière ; il en est ainsi dans l'Oural, à Ekaterinbourg ; au Sud de la Russie, à Ekaterinoslav ; au Caucase, à Tiflis ; dans la Sibérie occidentale, à Tomsk, et dans la Sibérie orientale, à Irkoutsk. Les ingénieurs des arrondissements du Centre de la Russie, de la Pologne et de l'arrondissement du Nord sont au contraire sous les ordres directs du département des mines à Saint-Pétersbourg.

Dans le pays des Cosaques du Don, il existe une administration minière spéciale, et la surveillance de l'industrie minière privée est aussi entre les mains d'ingénieurs d'arrondissement, au nombre de trois. Les arrondissements miniers de l'Altaï et de Nertchinsk ont leurs chefs des mines directement subordonnés au *Cabinet de Sa Majesté*. La Finlande a sa propre administration minière.

Quant à la *législation des mines* de la Russie, elle est

insérée dans le volume VII du Code des lois de l'Empire. Mais depuis le moment de la publication de ce code, en 1857, la législation a subi beaucoup de changements et reçu des additions sous forme de lois nouvelles, concernant tantôt l'industrie minière dans certaines parties de l'Empire et tantôt spécialement l'exploitation de tels ou tels minéraux.

Parmi les lois rentrant dans cette première catégorie sont : 1° le règlement de l'industrie minière dans le pays des Cosaques du Don ; 2° le règlement de l'industrie minière dans les gouvernements de la Pologne ; 3° le règlement de l'industrie minière privée dans les terres libres appartenant à l'État ; 4° le règlement pour l'exploitation de la houille à l'île Sakhalin ; 5° le règlement pour l'exploitation de l'ambre dans les terres appartenant à l'État.

L'exploitation spéciale de divers minéraux est soumise aux règlements suivants : *a*) le règlement pour l'exploitation des gîtes aurifères ; *b*) le règlement pour l'exploitation du pétrole, et *c*) le règlement pour l'exploitation du sel.

Les modifications continues qu'ont subies diverses parties du règlement général depuis déjà 40 ans, et qui sont encore loin d'être terminées, n'ont pas permis jusqu'ici de rédiger un code minier complet et systématique (*).

Pour ce qui concerne la Finlande, ce pays, comme nous l'avons dit, a son propre code minier, dont la promulgation date de l'année 1883.

Le développement progressif de l'industrie minérale pendant les trois derniers règnes : des empereurs Nicolas Ier, Alexandre II et Alexandre III, de 1825 jusqu'à 1891, peut être résumé dans le tableau suivant :

(*) Il vient de paraître une nouvelle édition du volume VII du *Code des lois*, contenant toutes les modifications des lois des mines faites jusqu'à l'année 1893.

ANNÉES	OR	ARGENT	PLATINE	CUIVRE	PLOMB	ZINC	FONTE	HOUILLE	SEL	PÉTROLE
	kilog.	kilog.	kilog.	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1825	3.882	18.673	180	3.325	»	»	157.977	»	»	»
1830	6.271	20.999	1.753	3.866	694	»	182.953	»	342.676	»
1835	6.437	19 853	1.720	3.934	696	2.514	172.008	»	368.550	»
1840	7.502	19.738	1.523	4.121	891	2.739	185.610	»	434.889	»
1845	21.409	19 525	770	4.172	916	3.569	187.266	»	908 713	»
1850	23.817	17.494	164	6.447	675	2 606	227.556	»	406.699	»
1855	27.014	18.018	16	6 201	1.817	1.107	250.788	155 512	516.936	»
1860	24 423	17.527	999	5.194	1.093	1.838	335.258	299.901	429.688	»
1865	25 815	17.756	2.277	4.144	1.633	3.089	299.438	382 162	501.864	9.122
1870	35 430	14 218	1.949	5 052	1.649	3 781	359.531	604 782	475.241	27.919
1875	32.694	9 814	1.540	3.649	1.081	3.985	427.185	1 709.220	585.400	132.259
1880	43.275	10 090	2.948	3.202	1.447	4 387	448.228	3.288.842	778.573	352 137
1885	33 015	11.260	2.588	4 721	715	4.584	527.527	4 268.252	1.133.174	1 904.321
1890	39.373	14.567	2.834	5.725	838	3.774	926 455	6.014.793	1.389.961	3.979 383
1891	39.089	13.723	4.236	5.455	556	3.673	1.004.745	6.233.020	1 351.187	4.756.417

Si l'on prend les chiffres de production pour l'année 1891, la valeur totale sur place des principaux produits primitifs de l'industrie minérale en Russie peut être évaluée aux sommes suivantes (*) :

(*) L'auteur du présent travail ayant donné les chiffres en mesures russes, la Commission des *Annales des Mines* a dû en faire faire la transformation en mesures françaises. Ces transformations ont été effectuées sur les bases suivantes, indiquées par l'auteur lui-même :

I. *Mesures de longueur :*

1 pied russe = 12 pouces = 30cm,4794.
1 archine russe = 16 verschoks = 71cm,1598.
1 sagène russe = 7 pieds = 3 archines = 2m,13356.
1 verste = 500 sagènes = 1km,06678.

II. *Mesures de surface :*

1 sagène carrée = 49 pieds carrés = 4m2,5521.
1 déciatine = 2.400 sagènes carrés = 1ha,0925.
1 verste carrée = 250.000 sagènes carrés = 1km2,1380.

III. *Mesures de volume :*

1 sagène cube = 343 pieds cubes = 9m3,712.

IV. *Poids :*

1 poud = 40 livres = 16kg,380.
1 livre = 32 loths = 96 zolotniks = 0kg,40951.
1 zolotnik = 96 dolis = 4gr,2657.

V. *Monnaies :*

Le rouble a été compté à la valeur moyenne de 2f,50 pour le

	POIDS	VALEUR
	kilogr.	francs
Or (*)	34.798	112.333.190
Argent (*)	15.768	2.705.625
Platine	4.236	2.586.250
	tonnes	
Cuivre	5.455	2.492 070
Plomb	556	127.822
Zinc	3.673	1.963.617
Mercure	324	2 224.350
Etain	9	21.600
Fonte	1.004.745	104 444.315
Houille	6.233.020	49.384.417
Sel	1.351.187	16.164.250
Minerais manganésifères	113.081	1.242.915
Soufre	336	35.875
Pétrole	4.756.417	19.939.250

Ainsi la valeur totale des principaux produits de l'industrie minérale en Russie représente la somme d'environ 315.664.846 francs. Jusqu'à quel point ces quantités des produits de l'industrie minérale suffisent-elles aux besoins du pays et peuvent-elles devenir l'objet d'échanges internationaux, on peut en juger par les tableaux ci-dessous, qui donnent les poids des produits importés et exportés, ainsi que leur valeur :

IMPORTATION	POIDS	VALEUR
	tonnes	francs
Cuivre et alliages	5.192	8.319 000
Plomb	19.233	7.493.465
Zinc	5.075	3.010.457
Mercure	5,4	24.007
Etain	2.236	3 552.010
Fonte	80.780	7.751.332
Fer et acier	78.362	29.589.350
Houille	1.543.811	26.458.167
Coke	203.078	3.927.540
Sel	13.806	565.560
Pétrole et ses produits	323	169.140
Ozokérite	3.877	2.388.055
Soufre	14.039	1.743.937

rouble-papier. Pour les droits de douane, qui se payent en or, il est compté à la valeur du rouble-or, soit 4 francs. (1 rouble = 100 copeks.)

(*) Les quantités d'or et d'argent de ce tableau ne correspon-

EXPORTATION	POIDS	VALEUR
		francs
Platine	kilogr. 3.096	2.386.875
	tonnes	
Cuivre	72	442.522
Zinc	46	26.785
Mercure	286	2.066.232
Fonte	247	42.692
Fer et acier	4.968	1.513.000
Autres métaux	175	84.780
Houille	11.188	186.390
Sel	7.578	200.727
Pétrole et ses produits	888.234	76.353.975
Minerais manganésifères et autres	75.168	4.547.707
Phosphorites	6.834	570.435

Ces tableaux montrent que la valeur générale des produits importés en 1891 atteint presque la somme de 95 millions de francs, tandis que la somme de l'exportation ne monte qu'à 88 millions de francs. Si l'on déduit de la valeur des produits importés le prix de leur transport, les chiffres de l'importation et de l'exportation se trouveront balancés.

En ce qui concerne le nombre des ouvriers employés par l'industrie minérale, nous trouvons pour les 20 dernières années les chiffres suivants, plus ou moins approximatifs :

ANNÉES	NOMBRE TOTAL des ouvriers	ANNÉES	NOMBRE TOTAL des ouvriers
1870	223.400	1885	349.300
1875	268.000	1886	356.300
1880	283.400	1887	398.200
1881	280,400	1888	419.100
1882	314.000	1889	416.900
1883	325 000	1890	435.700
1884	330.750	1891	440.517

Pour les diverses branches de l'industrie minérale,

dent pas aux chiffres du tableau précédent, parce que l'évaluation de leur valeur est calculée comme métaux fins obtenus dans le cours de l'année 1891. (Voir les chapitres : *Or* et *Argent.*)

dans les 5 dernières années, le nombre des ouvriers employés se décompose comme le montre le tableau suivant :

	NOMBRE D'OUVRIERS				
	1887	1888	1889	1890	1891
Placers aurifères et platinifères	85.643	89.215	90.023	87.961	89.095
Production de l'argent et du plomb	4.279	5.539	4.852	4.996	5.079
— du cuivre	9.016	9.812	10.239	11.458	10.877
— du zinc	1.220	1.299	577	979	1.415
— du fer	224.737	230.850	216.637	233.654	221.168
— du mercure	206	282	702	687	735
Charbonnages	32.781	37.957	43.275	40.571	40.225
Exploitation des minerais de manganèse	1.318	873	829	3 096	1 945
— d'autres minerais métalliques	15	2.392	1.464	496	466
— de mines de soufre	157	88	35	38	141
— du pétrole	4.102	3.348	4.793	5.994	7.695
— des mines d'asphalte	430	452	408	378	478
Salines	19.027	14.385	19.607	19.102	19.685
Exploitation des phosphorites, des argiles et des carrières	11.181	22.012	22.984	21.261	21.524

Quand on rapproche ces chiffres relatifs au personnel de ceux relatifs à la production dans les diverses branches de l'industrie minière, d'une part en Russie et, d'autre part, à l'étranger, on est frappé du nombre considérable d'ouvriers employés dans l'industrie métallurgique russe; ce fait si désavantageux s'explique simplement par la nature du combustible employé en Russie, où la houille ne joue encore qu'un rôle secondaire et où la plus grande partie des opérations métallurgiques est effectuée au charbon de bois, dont la préparation exige un nombre considérable d'ouvriers.

Entre les diverses parties de l'empire russe et les diverses branches de l'industrie minérale, la répartition des ouvriers en 1891 a été la suivante :

GENRE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE	OURAL	CENTRE de la Russie	POLOGNE	MIDI de la Russie	CAUCASE	PROVINCE Transcaspienne et Turkestan	NORD de la Russie	SIBÉRIE occidentale	SIBÉRIE orientale	FINLANDE	TOTAL
Placers aurifères	45.904	»	»	»	»	»	»	9.454	27.521	96	82.975
Placers platinifères	6.120	»	»	»	»	»	»	»	»	»	6.120
Mines d'argent et de plomb	20	»	»	»	188	9	»	2.348	352	»	2.917
Usines à argent et à plomb	»	»	»	»	111	»	»	2.005	46	»	2.162
Mines de cuivre	2.399	»	»	»	1.319	8	25	88	»	120	3.959
Usines à cuivre	4.212	»	»	»	1.703	»	107	103	»	733	6.918
Mines de zinc	»	»	836	»	»	»	»	»	»	»	836
Usines à zinc	»	»	577	»	»	»	»	»	»	»	577
Exploitation des minerais de fer	21.085	3.743	3.746	2.010	»	»	50	67	41	40	30.782
Usines sidérurgiques	123.269	26.198	8.094	15.913	»	»	12.209	957	1.086	3.380	190.416
Charbonnages	1.971	2.072	41.450	23.482	183	150	»	585	322	»	40.225
Exploitation des minerais de manganèse	51	»	»	355	1.539	»	»	72	»	»	1.945
Exploitation du cobalt, du fer chromé, etc	353	»	»	»	41	»	»	»	»	»	466
Mines et usines à soufre	»	»	»	»	130	11	»	»	»	»	144
Exploitation du pétrole	»	»	»	30	7.626	19	»	»	»	»	7.675
Fabriques d'huile d'éclairage	»	966	»	112	3.339	»	276	»	»	»	4.693
Minières et usines d'asphalte	»	376	»	»	68	34	»	»	»	»	478
Exploitation du sel gemme	229	»	»	520	158	»	»	»	»	»	907
— — des lacs	»	»	»	12.891	532	245	»	813	100	»	14.601
— — des eaux salées	2.776	»	46	402	232	»	189	»	418	»	4.063
Exploitation des phosphorites	»	279	»	566	»	»	»	»	»	»	845
— du sel de Glauber	50	»	»	»	10	»	»	54	»	»	114
— du kaolin	»	»	»	178	»	»	»	»	»	»	178
Carrières (1)	1.060	100	1.431	12.699	1.440	»	»	13	»	»	16.443
Exploitation des argiles réfractaires et fabriques de matériaux réfractaires (1)	2.083	156	174	1.344	68	»	35	198	»	»	4.058
Mine et usine à mercure	»	»	»	746	»	»	»	»	»	»	746
Totaux	214.582	33.860	96.031	71.248	18.677	476	12.891	16.167	29.886	4.369	425.210

(1) Pour les carrières, l'exploitation des argiles réfractaires et les fabriques de matériaux réfractaires, nous donnons les chiffres des ouvriers employés en 1890, par suite d'absence de données pour l'année 1891.

Dans l'Oural, au Centre de la Russie et en Pologne, pays où l'industrie minérale date des temps les plus reculés, les ouvriers sont des gens du pays, tandis qu'au Sud et au Nord de la Russie, ainsi qu'en Sibérie, la classe ouvrière se compose principalement de gens venus des autres parties de l'Empire et les gens du pays ne figurent comme ouvriers qu'en très petit nombre. Du reste, dans quelques centres, commence à se former une population minière stable.

Le rôle que joue l'exploitation des richesses minérales dans l'économie générale de l'État peut être estimé par les chiffres des rentrées que le gouvernement obtient sous forme de l'impôt des mines et d'autres contributions sur les entreprises minières privées :

ANNÉES	DE L'OR et du platine	DE LA FONTE	DU CUIVRE et d'autres métaux	DU SEL	DU PÉTROLE et de ses produits
	francs	francs	francs	francs	francs
1855	8.079.250	1.924.250		22.834.000	»
1860	5.174.500	1.117.250	750 500	20.532.250	» »
1865	5 002.500	1.059.625	840.000	26.963.750	» »
1870	6.852 000	1.031.500	115.000	29.890 750	» »
1875	4.930.500	874 750	217.750	28.208.750	» »
1880	1.780.250	767.750	118.000	33.995.750	» »
1885	5.920.000	1.065.750	433.250	1 613.000	»
1890	8.439.000	1.434.250	392.500	4.185.000	26.645.000

L'explication des grandes différences qu'on rencontre dans les chiffres du tableau ci-dessus se trouve plus loin dans les chapitres correspondants de cet aperçu.

Écoles des mines.

L'instruction supérieure pour l'art des mines est donnée en Russie dans l'École des mines (Institut des mines), tandis que les Écoles minières donnent une instruction secondaire ; ces écoles sont : celles de Barnaoul, de

l'Oural et de Dombrowa, l'École des maîtres-mineurs de Lisitchansk et l'École minière de M. Poliakoff. Toutes ces écoles sont du ressort du ministère des domaines, excepté celle de Barnaoul, qui appartient à l'arrondissement de l'Altaï et se trouve ainsi comprise dans le nombre des institutions du *Cabinet de Sa Majesté*. De plus, dans ces derniers temps, le ministère de l'instruction publique a entrepris la fondation d'un certain nombre d'écoles techniques, primaires et secondaires, pour diverses branches de l'industrie et entre autres pour l'industrie minière. Jusqu'à présent il n'existe que deux de ces écoles fondées dans le district minier de l'Oural.

L'École des mines (Institut des mines), à Saint-Pétersbourg, fut fondée par un oukase de l'impératrice Catherine la Grande, du 21 octobre 1773, pour satisfaire à la pétition des Bachkirs, qui voulaient avoir, pour leurs mines et usines, des gérants compétents et expérimentés. Jusqu'en 1865, cet établissement avait une organisation militaire, portait le nom d'*École militaire des mines* et jouissait d'une brillante renommée non seulement comme école spéciale, mais aussi comme établissement de haute instruction générale; on peut citer un grand nombre d'hommes d'État et d'hommes remarquables dans les professions les plus diverses, qui ont reçu leur éducation dans cette école.

En 1866, l'École des mines reçut un nouveau statut et changea complètement de caractère; elle devint un externat et une école de haute instruction spécialement minière, dont les cours ne traitent que des sciences exclusivement minières et métallurgiques, et de quelques autres intimement liées avec les premières. La durée des études fut fixée à 5 ans. Le budget de l'École des mines monte à 337.500 francs, dont 40.000 francs pour des bourses à des étudiants et de plus 31.750 francs pour subventions aux étudiants. Les étudiants de l'École des

mines sont au nombre de 270. L'École des mines possède une bibliothèque, un laboratoire de chimie et un musée, renommé pour sa collection minéralogique; les collections paléontologiques et géologiques du musée sont également très riches.

La fondation de l'École minière de l'Oural, à Ékaterinbourg, et de celle de Barnaoul, remonte aux temps de la naissance de l'industrie minérale dans les contrées de l'Oural et de l'Altaï : l'École de l'Oural fut fondée en 1725, et celle de Barnaoul en 1779.

Dans les limites du bassin houiller du Donetz, se trouvent : l'École des maîtres-mineurs de Lisitchansk et l'École minière de M. Poliakoff; la première fut fondée en 1873 et la seconde en 1877.

Au centre de l'industrie minérale en Pologne existe l'École minière de Dombrowa, dont la fondation ne date que de l'année 1889.

Toutes ces écoles ont pour but de former des employés techniques secondaires pour l'industrie minière, avec cette différence entre elles, que les écoles de l'Oural, de Barnaoul et de Dombrowa, donnent une instruction à la fois minière et métallurgique, tandis que les écoles de Lisitchansk et de M. Poliakoff ne forment que des maîtres-mineurs.

Pour l'entretien des écoles de Lisitchansk, de l'Oural et de Dombrowa, le gouvernement donne annuellement 141.500 francs.

L'École minière de Barnaoul reçoit annuellement du *Cabinet de Sa Majesté* la somme d'environ 57.500 francs, et enfin le budget de l'École minière de M. Poliakoff comprend une somme de 50.000 francs, donnés annuellement par son fondateur.

En 1891-1892, le nombre total des élèves de toutes ces écoles était de 680.

Enfin, il faut mentionner que le gouvernement a der-

nièrement décidé de fonder, à ses frais, une nouvelle école minière à Irkoutsk pour former un personnel capable de remplir les fonctions secondaires dans les exploitations des gîtes aurifères de la Sibérie.

Or.

L'exploitation de l'or en Russie remonte au milieu du XVIII^e^ siècle, époque de la découverte des premiers gisements aurifères primitifs dans les monts Ourals et le gouvernement d'Arkhangelsk.

Dans l'Oural, l'or fut découvert en 1744; cette découverte, qui était tout à fait accidentelle, eut lieu sur les terrains où furent creusées, dans la suite, les mines aurifères de Berësovsk, non loin d'Ekaterinbourg; leur exploitation fut commencée en 1748. Ce n'est qu'après un travail de 10 ans que le rendement de ces mines atteignit la quantité de 16 kilogrammes par an; de 1808 à 1810, ce chiffre monta à 360 kilogrammes par an; mais, après 1814, par suite de l'appauvrissement du gîte au fur et à mesure de l'avancement des travaux dans le sens de l'inclinaison des filons, cette exploitation commença à dépérir graduellement.

Dans le gouvernement d'Arkhangelsk, l'or fut trouvé, en 1745, dans la mine de Woizk. Les parcelles d'or étaient disséminées dans le minerai bigarré de cuivre. L'exploitation de ce gisement, interrompue plus d'une fois, fut abandonnée finalement en 1794; la quantité totale d'or obtenu a été de 62^kg^,58.

A l'époque des découvertes des gisements aurifères primitifs dans le gouvernement d'Arkhangelsk et dans les monts Ourals, en 1745, l'administration gouvernementale arriva, pour la première fois, à extraire l'or de l'argent aurifère, provenant de la fonte des minerais de la mine Smeinogorsk à l'Altaï.

En 1812, le droit de l'exploitation de l'or (l'exploitation des gîtes primitifs proprement dits) fut donné à tout sujet russe; quant aux placers aurifères, leur exploitation ne fut autorisée qu'en 1819.

La découverte de ces placers aurifères eut lieu, en 1814, dans la région des mines de Berësovsk, près d'Ekaterinbourg, dans l'Oural. En Sibérie, les premiers placers furent trouvés, en 1820, sur la pente orientale des monts d'Alataou, qui servent de ligne de démarcation aux bassins des rivières Ienissey et Tom. En 1840 et 1841, furent découverts les riches placers dans le Nord et le Sud du système de la rivière Ienissey. On peut juger de la richesse de ces placers par la quantité d'or obtenue: en 1847, elle était de 19.656 kilogrammes d'or brut. Depuis cette époque, les découvertes des placers aurifères en Sibérie se propagèrent de plus en plus à l'est, en envahissant toujours de nouvelles contrées jusqu'aux dernières limites de la Sibérie orientale (*).

Les placers aurifères, selon leur caractère, peuvent être groupés de la manière suivante:

1° Dans le gouvernement d'Orembourg, renfermant la partie Sud des monts Ourals, règne la petite industrie minière; la plus grande partie des placers est exploitée par de petites compagnies d'orpailleurs. La puissance et l'étendue de la couche aurifère de ces placers ne sont pas considérables, contrairement à ce qui arrive dans la Sibérie orientale. Les placers sont généralement situés soit dans la plaine, soit sur les sommets des montagnes ou sur leurs versants, et présentent des gisements tout à fait indépendants, d'une petite étendue et à contours irréguliers. Les placers de cette contrée ne se rencontrent que rarement dans les fonds des vallées actuelles. Comme

(*) Voir la carte des régions de la production des métaux fins, Pl. VII.

exception peuvent être citées les exploitations près de Miask, où se trouve maintenant la grande industrie minière.

2° Les placers du gouvernement de Perm se distinguent, ainsi que les précédents, par leur pauvreté, l'irrégularité de la répartition de leur richesse métallique et leur étendue peu considérable. Ce ne sont que les placers du district de Bogoslovsk, tout au nord de l'Oural, qui font exception et ressemblent un peu aux placers de la Sibérie: leur teneur en or est assez uniforme, et l'étendue atteint parfois plusieurs kilomètres.

3° Les placers des monts Altaï diffèrent essentiellement de ceux de la partie orientale de la Sibérie. Les placers de l'Altaï sont généralement pauvres, peu larges, à couches minces, irrégulières et discontinues. Ce sont surtout les placers du district de Tomsk qui contiennent très peu de métal; ceux des districts d'Atchinsk et de Minoussinsk ne sont guère plus riches. En général les placers de la Sibérie occidentale possèdent le caractère de gisements pauvres, et on peut facilement trouver des chantiers qui ne sont bons qu'à occuper 10 à 15 ouvriers, sans même qu'il puisse être question d'employer des chevaux pour le roulage des matières abattues.

4° Les placers du district de l'Ienissey, jadis renommés par leur richesse, l'uniformité de leur teneur, leur grande continuité ont été déjà entièrement exploités dans leurs parties les plus riches et ne sont plus, à leur tour, maintenant, que des placers bons à nourrir seulement la petite industrie. En général, dans les derniers temps, c'est cette forme d'industrie qui s'y est le plus développée.

5° Les placers du district de Nertchinsk, de la contrée du fleuve Amour et du gouvernement de Yakoutsk, dans le système du fleuve Léna, se distinguent au contraire par leur richesse, leur continuité et leur étendue.

C'est ici que prédomine la grande industrie minière avec toutes les circonstances qui peuvent contribuer à son développement. C'est ici aussi, dans le système des rivières Vitim et Olekma, affluents de la Léna, que se trouvent les gisements exploités par des travaux souterrains. En général, les placers des vallées des systèmes des fleuves Léna et Amour, ainsi que de leurs affluents, possèdent tous les éléments constituant la richesse de cette sorte de gisements : la longueur de la couche, son étendue et enfin la teneur en métal. Au lieu des 10 à 15 mètres de largeur des placers pauvres, ceux de la Sibérie orientale en ont de 200 à 400 mètres et plus. La couche aurifère est d'une puissance régulière très uniforme de 1,5 à 2,5 mètres, et la richesse des sables (*), au lieu d'être de 20 à 30 dolis ($0^{gr},54$ à $0^{gr},81$ par 1000^{kg}), comme dans les placers pauvres, atteint 2 à 3 zolotniks ($5^{gr},21$ à $7^{gr},81$ par 1000^{kg}) et souvent plus, de sorte que le rendement annuel de quelques-uns de ces placers monte à la quantité de 800 à 1.600 kilogrammes, chiffre tout à fait inconnu dans les groupes des placers pauvres.

Il est évident que la différence qui existe entre les placers des systèmes pauvres et ceux des systèmes riches entraîne des modifications dans les méthodes d'exploitation.

Nous avons des données relatives à la production de l'or depuis l'année 1814. Dans le cours des deux premières années la quantité d'or obtenue était de $496^{kg},525$. Les résultats ultérieurs de l'exploitation de l'or en Russie sont rassemblés dans le tableau ci-dessous; ces résultats se rapportent à des périodes quinquennales et, de plus, on y trouve les chiffres de la production moyenne par année.

(*) On compte la richesse en or dans les sables aurifères par 100 pouds (1.638 kilogrammes) de sable.

ANNÉES	OR EXPLOITÉ	PRODUCTION moyenne de l'or par an	ANNÉES (*)	OR EXPLOITÉ	PRODUCTION moyenne de l'or par an
	kilogr.	kilogr.		kilogr.	kilogr.
1816-1820	1.384	276	1856-1860	133.168	26.634
1821-1825	10.326	2.065	1861-1865	120.400	24.080
1826-1830	24.181	4 836	1866-1870	150.892	30.178
1831-1835	33.296	6.659	1871-1875	176.217	35.242
1836-1840	37.601	7.520	1876-1880	203.142	40.628
1841-1845	88.190	17.638	1881-1885	177.357	35.471
1846-1850	132.588	26.518	1886-1890	180.097	36.012
1851-1855	123.673	24.735	1891	39.089	39.089

(*) Jusqu'à l'année 1860, les chiffres cités se rapportent aux quantités d'or en alliage (raffiné), tandis que pour les années suivantes les rapports officiels contiennent des données relatives aux quantités d'or brut (en schlich).

En somme, la quantité d'or retirée des gisements de Russie monte au chiffre de 1.632.000 kilogrammes, sans compter l'or tiré de l'argent aurifère.

L'examen des chiffres de ce tableau montre que jusqu'à la période de 1846-1850 la quantité d'or exploité va en croissant ; puis, pendant une période de 30 ans, ces chiffres éprouvent des hauts et des bas ; l'année 1880 est la plus productive : elle nous donne le chiffre de 43.275 kilogrammes, et enfin dans les six dernières années, depuis 1885, où la production de l'or était tombée à 33.022 kilogrammes, l'exploitation semble vouloir se ranimer.

La répartition entre les divers districts aurifères des quantités d'or obtenues est indiquée dans le tableau suivant :

ANNÉES	OURAL	SIBÉRIE occidentale	SIBÉRIE orientale
	p. 100	p. 100	p. 100
1861-1865	21,3	4,6	74,1
1866-1870	21,7	6,1	72,2
1871-1875	17,2	7,2	75,6
1876-1880	20,0	6,0	74,0
1881-1885	22,6	6,1	71,2
1886-1890	28,7	7,0	64,2
1891	29,6	7,1	63,3

Pour les dix dernières années, nous donnons des chiffres plus détaillés ; ils sont groupés dans le tableau ci-dessous :

ANNÉES	OURAL	SIBÉRIE occidentale	SIBÉRIE orientale	FINLANDE	PRODUCTION totale de l'or
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
1882	7.478	2.076	26.581	19	36.154
1883	8.080	2.197	25.460	10	35.747
1884	7.968	2.149	25.579	»	35.696
1885	8.697	2.210	22.102	6	33.015
1886	9.176	2.237	22.032	5	33.450
1887	10.643	2.452	21.756	7	34.858
1888	10.904	2.526	21.721	14	35.165
1889	10 506	2.776	23.952	23	37.257
1890	10.526	2 637	26.192	18	39.373
1891	11.548	2.797	24.735	9	39.089

Les chiffres de ce tableau nous donnent une idée de la production relative de divers districts aurifères de la Russie, durant les dernières années, mais ne nous donnent point la possibilité de juger de l'appauvrissement des gisements et de savoir jusqu'à quel point ils sont exploités dans tel et tel district. Pour pouvoir répondre à ces questions, il serait indispensable d'étudier l'exploitation de l'or pendant une période plus considérable et de diviser ces études par rayons plus restreints, dans lesquels le caractère des gisements et les conditions du travail seraient plus ou moins uniformes.

Il nous est impossible d'entrer ici dans des considérations détaillées sur cette question, mais nous devons dire pourtant que l'augmentation ou la diminution des quantités d'or exploitées annuellement dépendent de circonstances si complexes, qu'elles ne peuvent même pas être comparées à celles dont dépendent généralement les autres branches de l'industrie.

En premier lieu, il est certain que la législation et les changements fréquents qu'elle subit exercent une influence marquée sur les quantités d'or exploitées ; ce sont surtout les changements des impôts qui jouent le

rôle prépondérant. D'un autre côté, les conditions physiques des saisons sont d'une grande importance. Le lavage des sables aurifères étant le mode principal d'exploitation des placers, exige des quantités considérables d'eau. Un été chaud et sec, par suite du manque d'eau, fait beaucoup de tort aux exploitants ; des saisons trop pluvieuses et surtout des saisons où se produisent des crues violentes entraînent la rupture des digues, et ont par suite l'inconvénient de laisser les travaux complètement à sec. Il arrive aussi assez souvent que les exploitations, au commencement de l'été, souffrent du manque d'eau et, à la fin de la saison, de sa surabondance. Mais il faut remarquer que des étés chauds et secs ont leur bon côté : ils permettent aux couches supérieures des placers de se dégeler ; en effet, dans les contrées où sont les principales exploitations aurifères, les couches riches sont gelées, et doivent être dégelées pour que le traitement hydraulique des sables puisse être effectué.

A côté de ces conditions météréologiques qui ont une influence pour ainsi dire directe sur l'exploitation de l'or, il y a lieu de placer le prix du pain qui n'a pas une influence beaucoup moindre ; ce prix dépend de la récolte de l'année précédente, et sur lui se règle le salaire des ouvriers orpailleurs : il y a des années où ce salaire monte, dans quelques endroits, jusqu'à la somme de 900 à 1.400 roubles (2.250 à 3.500 francs) par ouvrier pour une saison de travail qui ne dure quelquefois que quatre à cinq mois.

Mais le facteur le plus sérieux de la question est le cours du rouble-papier. La loi oblige les exploitants à livrer tout leur or au gouvernement, qui le leur rend sous forme de monnaie ; au contraire, toutes les dépenses sont comptées en roubles-papier ; de sorte que la valeur relative du rouble-papier et du rouble-or joue un rôle des plus importants. Plus le cours du rouble-papier baisse,

plus il est avantageux d'exploiter les plus grandes quantités possibles d'or, et les cas ne sont pas rares où les exploitants ne gagnent que sur l'agio. Ce facteur, qui est d'une si grande influence sur l'exploitation de l'or, ne peut malheureusement être ni prévu ni atténué, et il exerce son influence dans toute sa vigueur. On voit, en raison même de ces facteurs si divers, que la seule considération des quantités d'or exploitées pourrait nous mener à des conclusions tout à fait fausses.

Sur le total de l'or produit annuellement par les gisements de la Russie, la quantité de ce métal provenant des gîtes primitifs (filons aurifères) est relativement très minime, quoique depuis l'année 1882 cette quantité tende à s'accroître, comme on peut le voir dans le tableau suivant :

ANNÉES	OR PROVENANT DE FILONS EXPLOITÉS		
	Oural	Sibérie	Total
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
1882	991	158	1.149
1883	1.267	155	1.422
1884	1.168	327	1.495
1885	1.494	310	1.804
1886	1.658	547	2.205
1887	2.134	546	2.680
1888	2.433	385	2.818
1889	2.398	421	2.819
1890	2.508	392	2.900
1891	2.064	319	2.383

Ce tableau nous montre que l'exploitation des gîtes primitifs se développe bien plus vite dans l'Oural qu'en Sibérie où existent pourtant des exploitations de filons aurifères dans les deux parties du district de Ienisseïsk et dans le district de Nertchinsk.

Il est assez intéressant de jeter un coup d'œil général sur les quantités de sables et de quartz aurifères traitées par le lavage dans les différents centres de cette exploitation :

ANNÉES	OURAL		SIBÉRIE occidentale		SIBÉRIE orientale		TOTAL	
	Nombre des placers	Quantités des sables aurifères et de quartz lavés	Nombre des placers	Quantités des sables aurifères et de quartz lavés	Nombre des placers	Quantités des sables aurifères et de quartz lavés	Nombre des placers	Quantités des sables aurifères et de quartz lavés
		tonnes		tonnes		tonnes		tonnes
1882	455	5.029.676	159	2.545.845	487	10.866.263	1.101	18.441.784
1883	513	5.232.624	165	2.481.832	501	11.386.262	1.179	19.100.718
1884	643	5.691.231	189	2.513.773	504	11.452.208	1.306	19.657.212
1885	616	6.252.426	209	2.411.185	534	10.404.232	1.359	19.067.843
1886	689	7.275.603	215	2.476.918	541	10.540.022	1.445	20.292.543
1887	852	8.444.922	248	2.893.674	580	10,759.514	1.680	22.098.110
1888	952	8.816.617	252	2.937.180	585	10.333.618	1.789	22 087.415
1889	912	8 453.308	262	3.180.783	690	10.696.025	1.864	22.330.116
1890	797	7.726 299	248	3.022.044	671	12.043 542	1.716	22.791.885
1891	964	8.831.596	251	3.377.589	660	11.107.335	1.875	23.316.520

Les quantités de sables exploités et lavés sont en rapport intime avec le nombre des ouvriers employés sur les placers ; le tableau ci-dessous nous donne les chiffres de ce personnel:

ANNÉES	NOMBRE D'OUVRIERS EMPLOYÉS			
	Oural	Silésie occidentale	Sibérie orientale	Total
1882	31.651	6.653	26.768	65.072
1883	40.241	7.148	26.252	73.641
1884	40.930	8.094	27.441	76.465
1885	39.594	8.624	27.442	75.312
1886	38.794	9.158	25.593	73.546
1887	46.539	11.616	23.203	82.158
1888	47.842	11.460	24.803	84.105
1889	47.066	10.585	26.697	84.348
1890	44.086	9.512	28.242	81.840
1891	45.904	9.454	27.521	82.975

Tout l'or brut extrait des sables et quartz aurifères est obligatoirement livré dans les fonderies de l'État, qui sont pour toute la Russie au nombre de trois : une à Ekaterinbourg pour l'Oural, une à Tomsk pour la Sibérie occidentale et une à Irkoutsk pour la Sibérie orientale. Le *Cabinet de Sa Majesté*, dans le domaine duquel se trouvent les exploitations de l'Altaï et de Nertchinsk,

possède ses propres laboratoires pour le traitement des métaux précieux. Dans les fonderies susmentionnées, l'or présenté est fondu, et l'essai de l'alliage obtenu détermine la teneur en or fin.

Pour les dernières années nous avons les chiffres suivants des quantités d'or fin, contenues dans l'or et l'argent bruts.

ANNÉES	DANS les schlichs aurifères	DANS l'argent aurifère	TOTAL
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
1883	30.114	158	30 272
1884	30.543	231	30.774
1885	27.912	225	28.137
1886	27.894	278	28.172
1887	30.816	270	31.086
1888	31.241	250	31.491
1889	32.886	244	33.130
1890	35.058	252	35 310
1891	34.580	219	34.799

La législation concernant l'exploitation des gites aurifères a subi de fréquents changements en raison du développement de cette industrie. Jusqu'au commencement de ce siècle, l'exploitation des gites aurifères était le monopole du gouvernement ; en 1812, les propriétaires fonciers dans la contrée de l'Oural reçurent la permission de rechercher l'or dans les limites de leurs propres terres. En 1826, le comte Kankrine, ministre des finances, sollicita de l'empereur Nicolas I[er] et obtint des privilèges pour quelques particuliers qui furent autorisés à faire des recherches de gisements aurifères dans les terres appartenant à l'État dans les gouvernements de Viatka et de Tobolsk. Bientôt après, de pareils privilèges furent accordés à diverses personnes sur toute l'étendue de la Sibérie, de sorte qu'à l'époque de la promulgation du premier règlement pour l'exploitation privée des gisements aurifères, en 1838, il y avait déjà sur place près de 200 entrepreneurs occupés à cette industrie. Pour la développer, le règlement mentionné ci-dessus fut

revu en 1851, et enfin, en 1870, un nouveau règlement fut promulgué ; ce dernier généralisa la législation, et au lieu de règlements spéciaux pour les différents districts aurifères, on rédigea un statut général pour l'exploitation des gisements aurifères de l'Empire. Néanmoins, dans le cours des vingt-deux dernières années, ce statut a subi encore quelques modifications importantes. Ainsi, le gouvernement avait décidé, en 1876, d'abolir l'impôt sur l'or ; mais déjà en 1882, cet impôt fut de nouveau rétabli. C'est ce qui explique que, dans le tableau des recettes résultant de l'impôt des mines, la recette de 1880 pour l'or est bien moindre que celles de toutes les autres années.

Les principales prescripitions législatives qui régissent l'exploitation privée des gîtes aurifères en Russie sont les suivantes : la loi donne pleine liberté pour les recherches et l'exploitation des gîtes aurifères sur les terrains privés à leurs propriétaires et aux personnes qui ont passé des contrats avec eux, et ne s'occupe que de la sécurité des ouvriers employés dans les exploitations et du versement régulier des impôts ; par contre, elle formule des conditions et impose des formalités pour cette industrie dès qu'il s'agit de l'installer sur les terres de l'État ou sur celles du domaine du *Cabinet de Sa Majesté*. Les superficies occupées par les placers ou les gisements aurifères primitifs, dans les terres de l'État ou dans celles du *Cabinet de Sa Majesté*, ne sont pas abandonnées à l'exploitant en pleine propriété, mais seulement à titre de jouissance temporaire jusqu'à épuisement des gîtes qu'elles renferment. Le droit de l'exploitant sur le terrain occupé par son entreprise est envisagé comme bien-meuble.

Toute personne jouissant de ses droits civils, tous les sujets russes et étrangers, sauf les juifs, ont le droit d'exploiter des gîtes aurifères.

Quiconque veut entreprendre une exploitation des gîtes aurifères, doit être muni d'un permis spécial délivré par l'administration minière.

Chaque terrain libre de recherches et de déclarations peut être l'objet d'explorations minières pour or, et on a le droit d'y occuper :

Pour les recherches de placers, une surface dont la largeur est celle de la vallée elle-même et dont la longueur ne peut dépasser cinq verstes (5^{km},334) suivant le cours de l'eau ou la direction de la vallée ;

Et pour les recherches de gisements primitifs, une étendue d'une verste (1^{km},067) dans toutes les directions en partant du poteau de recherche placé au centre du terrain qu'on veut explorer.

Si l'entrepreneur, satisfait de ses recherches, désire obtenir la concession du terrain pour y installer son exploitation, il doit faire la déclaration des gîtes trouvés au bureau de police du district où a été faite la découverte. Cette déclaration, si elle satisfait à toutes les conditions posées par le règlement minier, lui donne le droit d'obtenir la concession demandée.

Pour chaque placer, on alloue une concession qui est toujours comptée en amont des eaux courantes en partant d'un point initial marqué dans la déclaration. Pour les gîtes primitifs, la concession ne doit pas dépasser une verste carrée ; de plus, sa largeur ne doit pas être moindre de 1/3 de sa longueur ; pour les placers, la longueur de la concession ne doit pas être de plus de cinq verstes et, en outre, la superficie des concessions demandées, en Russie d'Europe, ne doit pas être de plus d'une verste carrée.

Le choix de la méthode d'exploitation à employer dans chaque cas dépend complètement de l'entrepreneur, à la seule condition que les travaux soient exécutés dans des conditions de parfaite salubrité et sécurité pour les ouvriers.

Pour ce qui concerne l'aménagement des eaux indispensables pour l'exploitation des placers, il existe des règles spéciales qui spécifient les conditions d'emploi de ce précieux agent, ainsi que les rapports à ce sujet entre les exploitations voisines.

Les industriels qui exploitent l'or dans les terrains privés payent un impôt sur la quantité d'or obtenue; ceux qui l'exploitent dans les domaines de l'État ou du *Cabinet de Sa Majesté*, payent de plus une redevance foncière supplémentaire soit au profit de l'État, soit au profit de la caisse du *Cabinet*.

L'impôt sur les métaux riches exploités est prélevé en nature et proportionnellement à la quantité des métaux riches, contenus dans le produit brut. Cet impôt est prélevé sur l'or et l'argent séparément.

Les exploitants du district d'Olekminsk (gouvernement de Yakoutsk), qui est le plus riche, payent 10 p. 100 d'impôt et une redevance de 10 roubles (25 francs) pour chaque déciatine ($1^{ha},09$) de concession sur les terrains de l'État, tandis que les industriels du district de l'Amour ne payent que 5 p. 100 d'impôt et 5 roubles ($12^{f},25$) par déciatine. Dans les autres contrées de l'Empire, ces chiffres se réduisent à 3 p. 100 d'impôt et à 1 rouble ($2^{f},50$) de redevance foncière.

Les placers situés sur les terres du *Cabinet de Sa Majesté* sont divisés en trois catégories selon leurs richesses respectives et payent un impôt de 5 à 15 p. 100, plus une redevance foncière de 15 copeks ($0^{f},38$) par sagène courante ($2^{m},13$) suivant la longueur de la concession.

Les frais de transport du métal des fonderies (d'Ekaterinbourg, de Tomsk et d'Irkoustk) à la monnaie de Saint-Pétersbourg, ainsi que les frais du monnayage, sont aussi à la charge des exploitants.

Après la fonte et l'essai du métal présenté par les exploitants aux fonderies de l'État, ils reçoivent des assignations pour les quantités d'or et d'argent fins obtenues. Ces assignations sont payées en roubles, or ou argent, ou même en lingots s'il s'agit d'assignations pour or.

Ces assignations peuvent être aussi vendues ou engagées à des particuliers, aux banques, etc., et sont reçues comme payement des droits d'entrée par les douanes de l'Empire.

Les industriels qui ont leurs exploitations en Sibérie ont encore le droit de recevoir dans les succursales de la banque de l'État à Tomsk, Ienisseïsk et Irkoutsk des avances à raison de deux roubles (5 francs) par zolotnik ($4^{gr},27$) sur la quantité d'or brut présenté, ce qui est d'un grand secours pour les exploitants, qui ont souvent besoin de crédit.

Ajoutons à ce court aperçu de la législation relative à l'exploitation des gisements aurifères, que le gouvernement trouve utile et désirable dans l'intérêt même de la régie, ainsi que dans l'intérêt du développement de cette industrie, de provoquer la création d'établissements pour le traitement chimique des minerais aurifères et mêmes des anciens remblais plus ou moins aurifères. C'est dans ce but qu'il a promulgué un permis général pour l'installation de pareilles fabriques sur toute l'étendue de l'Empire et fixé des règles spéciales pour ce genre d'industrie.

Platine.

Les gisements sédimentaires du platine sont connus dans la contrée des monts Ourals, vers la limite du gouvernement de Perm (*).

(*) Voir la carte des régions productives des métaux précieux, Pl. VII.

Le platine se trouve dans des placers souvent aurifères. La richesse de ces placers est très variable : de 12 grammes de platine jusqu'à moins de $2^{gr},6$ par tonne de sable. La puissance de la couche métallifère des placers est rarement inférieure à 1 mètre et atteint souvent 2 mètres. La grosseur des grains de platine est généralement minime, quoiqu'on trouve quelquefois des pépites d'un poids de plusieurs kilogrammes. Dans les placers de platine, on rencontre aussi assez souvent quelques métaux rares comme l'osmium et l'iridium.

Les placers platinifères de l'Oural sont les seuls gisements sédimentaires de ce métal. Dans les derniers temps, on a reconnu des gisements primitifs de platine; on trouve alors ce métal sous forme de grains dans le fer chromé et la serpentine.

Tout le platine extrait des placers de l'Oural arrive à l'état brut à Saint-Pétersbourg et de là est exporté à l'étranger. Quoi qu'il y ait à Saint-Pétersbourg deux laboratoires pour la purification du platine, néanmoins la plus grosse part de la production passe à l'étranger à l'état brut.

L'exploitation du platine est soumise à un impôt en nature de 3 p. 100 quand elle a lieu sur des terres privées, et de 4,5 p. 100 si elle a lieu sur des terres dites *de possessions* (*). La somme totale des impôts atteint annuellement le chiffre de 150.000 à 200.000 francs.

Les oscillations brusques et imprévues des prix du platine, qui, en général, n'a point de valeur stable sur le marché quoiqu'il soit un métal d'une réelle utilité industrielle, influent sérieusement sur les entreprises d'exploitation du platine en Russie; quand les prix du platine

(*) Sous le nom de *Possessions* sont désignés en Russie les terrains de l'État qui ont été donnés par le gouvernement à des personnes privées soit pour y extraire des minerais, soit pour en exploiter les forêts.

sont en hausse, il y a intérêt à exploiter les placers connus comme pauvres; dans le cas contraire, ce ne sont que les placers riches qui peuvent être exploités avantageusement.

Quoique la découverte du premier gisement de platine ait eu lieu en 1819, les exploitations régulières ne furent installées qu'en 1824, quand, dans le district des usines de Demidoff à Nijni-Tagilsk, eut été découvert un riche placer platinifère.

De 1828 à 1845, on monnayait le platine en Russie sous forme de pièces de la valeur de 3, 6 et 12 roubles (12 fr., 24 fr., 48 fr). Au total, on mit en circulation 4.250.000 roubles (17.000.000 francs) en pièces de platine. A cette époque, l'exploitation du platine prit un grand développement ; mais, à partir du moment où ce métal ne fut plus employé pour la fabrication de la monnaie, cette industrie tomba presque complètement et ne commença à se relever qu'en 1859. Depuis, l'exploitation de ce métal se modifie suivant les demandes des exportateurs et les prix courants du métal. L'exploitation régulière du platine commença en 1824 par une production de 33 kilogrammes; en 1825, cette quantité monte jusqu'à 190 kilogrammes et, depuis, elle a continué dans les proportions indiquées au tableau suivant pour des périodes quinquennales :

ANNÉES	PLATINE exploité	PRODUCTION moyenne de platine par an	ANNÉES	PLATINE exploité	PRODUCTION moyenne de platine par an
	kilogr.	kilogr.		kilogr.	kilogr.
1826-1830	5.236	1.047,2	1861-1865	7.231	1.446,2
1831-1835	9.023	1.804,6	1866-1870	9.826	1.965,2
1836-1840	7.407	1.481,4	1871-1875	8.707	1.741,4
1841-1845	9.675	1.935,0	1876-1880	10.583	2.116,6
1846-1850	384	76,8	1881-1885	15.432	3.086,4
1851-1855	1.496	299,2	1886-1890	16.923	3.384,6
1856-1860	2.241	448,2	1891	4.236,3	4.236,3

Ainsi, de 1824 à 1891, la quantité totale de platine

exploité forme un poids de 108.616 kilogrammes de métal brut.

En donnant, dans le tableau ci-dessous, les chiffres concernant le nombre des placers exploités dans ces dernières années et la quantité des sables lavés, il faut remarquer qu'une certaine partie du platine est obtenue concurremment avec l'or des placers (*) :

ANNÉES	NOMBRE de placers exploités	SABLES platinifères lavés	PLATINE EXPLOITÉ
		tonnes	kilogr.
1882	82	329.693	4.084
1883	107	183.358	3.535
1884	71	319.443	2.238
1885	58	284.822	2.588
1886	83	377.331	4.317
1887 (*)	93	1.011.846	4.408
1888	75	964.073	2.717
1889	72	1.100.487	2.636
1890	82	775.333	2.834
1891	102	1.286.166	4.236

La plus grande masse du platine est extraite des placers du prince Demidoff San-Donato à Nijni-Tagilsk et du placer de Krestovosdvigensk du comte Chouvaloff.

En 1891, le nombre des ouvriers employés pour l'exploitation du platine était de 6.120.

L'exportation du platine, pour les huit dernières années, se résume comme suit :

ANNÉES	EN ALLEMAGNE	EN ANGLETERRE	EN AUTRICHE	TOTAL
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
1884	1.687	459	»	2.146
1885	459	4.275	16	4.750
1886	852	3.882	»	4.734
1887	819	4.308	»	5.127
1888	835	2.916	»	3.751
1889	557	3.538	»	4.095
1890	213	3.177	»	3.390
1891	3.096	»	»	3.096

(*) Ce n'est que depuis 1887 que la statistique officielle minière marque séparément les quantités des sables platinifères lavés pour chaque placer en particulier; jusqu'en 1886, les sables platinifères étaient compris dans la quantité générale des sables aurifères.

La valeur totale du platine exporté annuellement est de 2.500.000 à 3.900.000 francs.

Argent.

La première découverte du minerai d'argent, dans le district de Nertchinsk (Sibérie orientale), a eu lieu au commencement de la dernière moitié du XVII[e] siècle, mais on ne procéda au traitement de ce minerai qu'en 1704. Dans la région des monts Altaï, le minerai d'argent fut trouvé par Akinfi Demidoff, à Sméinogorsk, en 1735, et dix ans plus tard, en 1745, ces gîtes argentifères devinrent la propriété de l'État, et on procéda immédiatement au traitement du minerai. Vers 1775, la production annuelle de l'argent atteignait son apogée : les usines de Nertchinsk donnèrent 9.800 kilogrammes et celles de l'Altaï 18.000 kilogrammes, soit au total 27.800 kilogrammes.

Les chiffres du tableau suivant montrent jusqu'à quel point cette production est tombée depuis le commencement de ce siècle :

	ARGENT exploité	PRODUCTION moyenne de l'argent par an		ARGENT exploité	PRODUCTION moyenne de l'argent par an
	kilogr.	kilogr.		kilogr.	kilogr.
1822-1825	74.365	18.591	1861-1865	86.155	17.231
1826-1830	94.676	18.935	1866-1870	81.448	16.290
1831-1835	104.196	20.839	1871-1875	57.477	11.495
1836-1840	99.151	19.830	1876-1880	55.333	11.067
1841-1845	97.966	19.593	1881-1885	44.735	8.947
1846-1850	93.215	18.643	1886-1890	72.215	14.443
1851-1855	85.780	17.156	1891	13.723	13.723
1856-1860	86.913	17.383			

Dans ce siècle, l'année 1831 fut la plus productive et, pourtant, ne donna que 21.589 kilogrammes d'argent,

c'est-à-dire seulement 76 p. 100 des grandes productions de la fin du siècle précédent.

Le tableau ci-dessous nous donne les chiffres de la production de ce métal dans les diverses contrées de la Russie pendant les dix dernières années (*) :

ANNÉES	OURAL	CAUCASE	ARRONDISSEMENT de l'Altaï	STEPPES des Kirghiz	ARRONDISSEMENT de Nertchinsk	FINLANDE	TOTAL
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
1882	112	579	6.513	»	818	»	8.022
1883	5	498	6.033	13	827	»	7.376
1884	»	486	7.317	»	838	»	8.641
1885	»	556	8.773	574	857	500	11.260
1886	»	504	10.044	1.386	868	471	13.273
1887	»	531	10.843	2.808	845	351	15.378
1888	»	478	11.173	2.231	831	424	15.137
1889	»	554	10.680	1.806	821	»	13.861
1890	»	501	11.158	1.491	899	818	14.567
1891	»	452	9.749	1.578	906	1.038	13.723

Le district de l'Altaï, appartenant au *Cabinet de Sa Majesté*, donne toujours les trois quarts de la production totale de l'argent en Russie, quoique, en 1884, sa capacité productive (7.317 kilogrammes), ait beaucoup baissé par rapport à l'année 1860 où le poids de métal obtenu fut de 17.363 kilogrammes. Depuis l'année 1884, la production croît de nouveau progressivement; elle a atteint, en 1890, 11.158 kilogrammes.

Dans le district de Nertchinsk, qui est aussi du domaine du *Cabinet de Sa Majesté*, la production de l'argent, jusqu'en 1863, ne dépassait pas 125 kilogrammes; depuis 1866, elle commence à s'accroître avec de faibles oscillations et a atteint, en 1881, le total de 900 kilogrammes, poids qui a peu varié jusqu'en 1891.

Au Caucase, il n'y a qu'une seule usine pour le traitement des minerais argentifères : celle d'Alaghirsk, qui appartient à l'État et dont la production annuelle ne varie

(*) Voir la carte des régions de production des métaux précieux, Pl. VII.

que dans de faibles limites, entre 475 et 575 kilogrammes.

Dans les usines des steppes des Kirghiz, le travail marche très irrégulièrement et la production est soumise à des oscillations considérables.

Dans la contrée des monts Ourals, la production de l'argent date de 1874 et a atteint, en 1880, son plus gros chiffre de 470 kilogrammes; depuis, elle a baissé rapidement jusqu'en 1884, où cette industrie a cessé toute production.

Enfin, dans le nord de la Russie, en Finlande, il n'existe qu'une seule usine, celle de Pittkaranda, située sur la rive Nord du lac Ladoga; sa production a été de 1.038 kilogrammes en 1891.

Tout l'argent produit en Russie s'extrait de la galène argentifère; mais il y a lieu, d'autre part, de remarquer que tout l'or de provenance russe est argentifère; le dosage de ce métal est déterminé par les essayeurs des fonderies gouvernementales. Étant donné que les quantités de métal fin, contenues dans l'argent brut, ne peuvent être calculées que d'après les résultats des essais exécutés dans les usines mêmes et que nous n'avons, sous ce rapport, que des données bien incomplètes, le tableau ci-dessous ne donne qu'un minimum des quantités d'argent fin contenu dans l'argent brut et dans l'or argentifère non purifié, et n'embrasse que la période des neuf dernières années :

ANNÉES	DANS L'ARGENT brut	DANS L'OR brut	TOTAL
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
1883	6.748	2.945	9.693
1884	8.642	3.755	12.397
1885	8.799	2.395	11.194
1886	12.492	2.476	14.968
1887	14.362	2.723	17.085
1888	13.490	2.801	16.291
1889	12.662	2.935	15.597
1890	13 535	3.041	16.576
1891	12.653	3.115	15.768

L'argent produit par l'industrie privée est soumis à un impôt qui, depuis 1887, est notablement diminué; les usines privées, au lieu de 10 p. 100, ne payent plus que 3 p. 100, et les usines de « possession » ne payent que 4,5 p. 100 au lieu de 15 p. 100.

Comme supplément aux renseignements fournis sur la production des métaux précieux, il nous paraît utile de donner également ici les chiffres du monnayage en Russie pour les dix dernières années :

ANNÉES	MONNAIE FRAPPÉE			
	en or	en argent	billon blanc	billon cuivre
	francs	francs	francs	francs
1882	108.748.160	2.019.416	6.000.012	1.924.600
1883	100.476.216	2.225.244	4.000.016	1.199.508
1884	107 208.352	1.702.076	4.000.024	400.000
1885	72.504.840	2.256.364	4.800.212	400.000
1886	108.220.700	2.042.204	4.000.008	400.000
1887	102.040.380	2.000.088	4.000.044	400.000
1888	97.720.120	7.002	8.000.004	400.000
1889	112.600.360	307.040	8.000.012	800.000
1890	14.940.560	2.000.096	9.406.016	800.000
1891	2.880.360	10.540.040	1.600.000	480.000

La diminution des monnaies d'or frappées en 1890 et 1891 s'explique par le fait que la plus grande partie de l'or livré à l'hôtel des Monnaies a été coulée en lingots.

Nous donnons également, dans le tableau ci-dessous, les chiffres relatifs à l'importation et à l'exportation de l'or et de l'argent pour les cinq dernières années :

		1887	1888	1889	1890	1891
Importation.						
Or en lingots. . .	kilog.	390	5.740	532	966	14.283
	francs	934.920	13.735.680	1.139.315	2.056.552	30.608.870
Monnaie d'or . . .	kilog.	2.090	17.844	2.893	19.410	77.854
	francs	4.542.810	38.783.530	5.579.770	37.445.210	150.195.590
Argent en lingots	kilog.	55.070	177.592	174.643	148.616	214.578
	francs	7.387.765	23.853.170	18.711.452	15.922 280	22.989.182
Monnaie d'argent.	kilog.	18.346	27.928	25.700	26.126	35 201
	francs	2.240.750	3.410.900	2.476 402	2.520.930	3.396.085
Exportation.						
Or en lingots . . .	kilog.	3 505	22.981	7	»	8
	francs	8.391.740	55.000.540	14.040	»	18.427
Monnaie d'or . . .	kilog.	17.867	14.955	22 608	21.589	788
	francs	38.833.560	32 502.800	43.613 530	42.287.910	1.521.540
Argent en lingots.	kilog.	45.684	68.288	60.131	40.098	117.651
	francs	6.134.810	9.172.350	6.441.772	4.296.942	12.605.420
Monnaie d'argent.	kilog.	9.058	7.830	11.564	59.443	8.043
	francs	1.105.700	956.050	1.115.242	5.733.820	775.817

Cuivre.

L'exploitation du cuivre dans les contrées des monts Ourals date encore du milieu du XVII[e] siècle ; au commencement du XVIII[e] siècle, cette industrie fut aussi fondée dans le district de l'Altaï, par Akinfi Demidoff.

Vers la fin du XVIII[e] siècle, la production du cuivre, dans les usines privées de l'Oural, montait à 1.650 tonnes et, en 1816, elle atteignait le chiffre de 2.900 tonnes, de sorte que la production totale du cuivre en Russie montait à un poids total de 3.275 tonnes.

La production du cuivre en Russie, à partir de l'année 1822, est donnée dans le tableau suivant :

ANNÉES	CUIVRE produit	PRODUCTION moyenne du cuivre par an	ANNÉES	CUIVRE produit	PRODUCTION moyenne du cuivre par an
	tonnes	tonnes		tonnes	tonnes
1822-1825	12.689	3.172	1866-1870	22.351	4.470
1826-1830	18.279	3.656	1871-1875	18.813	3.763
1831-1835	18.580	3.716	1876-1880	17.223	3.445
1836-1850 (*)	25 492	5.098	1881-1885	22.353	4.471
1851-1855	30.546	6.109	1886-1890	24 687	4.937
1856-1860	27.460	5.492	1891	5.455	5.455
1861-1865	23.141	4.628			

(*) Pour la période de 1836 à 1845 les chiffres complets de la production du cuivre manquent.

Jusqu'en 1845, la production totale du cuivre en Russie n'atteignait que 3.300 à 4.100 tonnes par an; mais, à partir de ce moment, en sept années, elle arriva à dépasser 6.700 tonnes. La Russie, qui, dans le XVIII[e] siècle, était le principal producteur de ce métal pour toute l'Europe, a conservé cette situation jusqu'au milieu de ce siècle et a livré de grandes masses de cuivre aux divers marchés de l'Europe. L'industrie si renommée des bronzes français employait, comme matière première, du cuivre russe. Cette époque coïncide avec celle de l'armement des forts de Paris et de l'augmentation du matériel de l'artillerie française, lors de la guerre de Crimée.

La situation des usines à cuivre en Russie avait une telle importance pour le gouvernement français, qu'il chargea même ses consulats de prendre des renseignements sur les marques des fabriques russes et qu'il fit des démarches en vue de changer celles d'entre elles qui se prêtaient le plus facilement à la contrefaçon.

Depuis 1852, la production du cuivre en Russie est tombée graduellement; l'abolition du servage en 1861 et la politique douanière qui dura de 1857 à 1876 furent les causes essentielles de la décadence complète de cette industrie. En effet, les usines russes payaient un impôt de un rouble à un rouble et demi par poud, soit 15[f],25 à 22[f],85 par 100 kilogrammes de cuivre produit, tandis que

le droit d'entrée pour le métal n'était que de 60 copeks par poud, soit 9[f],15 par 100 kilogrammes.

Ces causes ont amené la diminution rapide de la production du cuivre; de sorte que, en 1879, la production n'était plus que de 3.124 tonnes, c'est-à-dire moins de la moitié de ce qu'elle avait été en 1852. Ce n'est qu'en 1884, quand la moitié des usines de cuivre étaient déjà fermées, que le gouvernement se décida enfin à porter le droit d'entrée à un rouble et demi *or* par poud, soit 36[f],60 par 100 kilogrammes. Ce droit protecteur se trouva même insuffisant, à ce moment-là, par suite de la situation nouvelle créée par la production énorme de ce métal en Amérique, production qui en abaissa le prix sur tous les marchés du monde. Dans le but de maintenir la production du cuivre et de soutenir cette industrie, qui nourrit une nombreuse population ouvrière dans les régions les plus éloignées de l'Oural, de l'Altaï, du Caucase et des steppes des Kirghiz, le gouvernement porta le droit d'entrée à deux roubles et demi *or* par poud, soit 61[f],05 pour 100 kilogrammes. Cette mesure a eu d'heureux résultats: à partir de ce moment, la production a, de nouveau, augmenté.

La production du cuivre brut en saumons, pendant les dix dernières années, est donnée dans le tableau ci-dessous :

ANNÉES	DANS LES USINES					TOTAL
	de l'Oural	du Caucase	des steppes des Kirghiz	de l'Altaï	de la Finlande	
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1882	2.112	795	313	275	97	3.592
1883	2.715	894	364	230	154	4.357
1884	3.636	1.434	365	393	191	6.219
1885	2.402	1.357	392	403	187	4.721
1886	2.453	1.546	66	291	215	4.571
1887	2.671	1.849	4	266	200	4.990
1888	2.568	1.530	5	298	202	4.603
1889	2.587	1.483	6	345	378	4.799
1890	2.839	2.282	»	317	287	5.725
1891	2.856	1.958	20	216	405	5.455

Pendant cette période de dix ans, la production du cuivre s'est donc accrue de 1.863 tonnes, soit de 52 p. 100. Ce sont les usines de l'Oural et surtout celles du Caucase qui ont le plus contribué au développement de cette industrie. Si les usines du Caucase ont pu autant progresser, elles le doivent, en partie, à la richesse des gisements exploités, mais surtout aux améliorations introduites dans la marche de quelques-unes des usines de la contrée.

Les centres de la plus grande production sont : l'usine de Bogoslovsk, dans l'Oural, et celle de Kedabek, au Caucase. La première de ces usines est remarquable par ses installations d'enrichissement du minerai par voie humide, l'extraction du cuivre de ses solutions au moyen de l'électricité et le traitement des mattes par le procédé Bessemer; quant à l'usine de Kedabek, on peut la citer comme ayant utilisé, pour le chauffage de ses fours, les résidus du pétrole.

Dans les steppes des Kirghiz, renommées pour la richesse de leurs gisements de cuivre, la production de ce métal est dans un état de stagnation complète, principalement à cause du manque de combustible. Le district de l'Altaï produit le cuivre en quantités très peu variables. En Finlande, la production du cuivre commence à se développer.

La réduction générale de la production du cuivre en Russie n'était nullement due au manque de minerais, car le pays en est abondamment pourvu.

Dans l'Oural, une partie des usines traite le minerai des gisements primitifs, principalement le minerai des filons, et les autres, des minerais provenant de gisements encaissés dans les roches sédimentaires. Les gisements primitifs sont situés sur le versant Est de l'Oural et donnent un minerai pauvre, d'une teneur de 3 à 7 p. 100, généralement pyriteux (pyrite cuivreuse, minerai spéculaire de cuivre, fahlerz); on y trouve aussi le cuivre

hydro-siliceux, l'azurite, la malachite, le cuivre oxydé rouge, le cuivre natif, etc. Les usines du versant Ouest de l'Oural traitent les minerais provenant des gîtes existant sous forme de nids et d'amas dans les roches du système permien, qui est largement développé dans les gouvernements de Perm, Viatka, Kazan, Orenbourg, Oufa et Samara. Ici, les minerais sont encore plus pauvres, d'une teneur de 2 à 3 p. 100; ils consistent en cuivres hydro-siliceux, cuivre azuré et, en partie, en malachite, cuivre oxydé rouge, cuivre oxydulé ferrifère et, très rarement, en cuivre natif. Au Caucase, les minerais de cuivre se trouvent dans de nombreux gisements primitifs situés, la plupart, sur le versant Sud de la chaine principale de montagnes qui traverse le pays. Ces minerais sont le plus souvent pyriteux, riches, et contiennent de 7 à 15 p. 100 de cuivre. Mais le minerai le plus riche et le plus abondant, en Russie, se trouve dans les steppes des Kirghiz; on y connaît de vastes gisements qui contiennent même des amas considérables de cuivre natif.

En 1891, la production des 106 mines de cuivre en exploitation était de 130.086 tonnes de minerai (135.029 tonnes, en 1890); cette quantité est répartie dans les diverses contrées du pays, comme le montre le tableau suivant:

PAYS PRODUCTEURS DU CUIVRE	1890	1891
	tonnes	tonnes
Oural	69.135	79.182
Altaï	988	»
Steppes des Kirghiz	218	86
Caucase	36.454	39.999
Gouvernement d'Olonetz	847	991
Finlande	27.387	9.828

En raison de la grande différence de richesse des minerais de cuivre de l'Oural, suivant qu'ils proviennent des gîtes primitifs ou des gisements dans les roches sédi-

mentaires et, par suite, des bénéfices très différents qu'on peut obtenir, le gouvernement a décidé, en 1869, de modifier les impôts sur cette industrie ; l'impôt de 10 p. 100 perçu en nature sur les usines privées et de 15 p. 100 sur les usines *de possession* a été aboli et remplacé par un autre, payé en argent comptant, qui est : 1° pour les usines privées de l'Oural, 7r,63 par 100 kilogrammes de cuivre extrait des minerais de filons, et 3r,82 par 100 kilogrammes de cuivre extrait des minerais de provenance sédimentaire du versant Ouest de l'Oural ; 2° pour les usines *de possession*, 15r,26 par 100 kilogrammes de cuivre provenant des gisements primitifs, et 11r,45 par 100 kilogrammes de cuivre des gisements sédimentaires, ce qui fait, en somme, une réduction d'environ 30 p. 100 pour l'impôt sur le cuivre.

Au Caucase, l'impôt minier est de 7r,63 par 100 kilogrammes de cuivre pour les usines privées, et 11r,45 par 100 kilogrammes pour les usines *de possession*.

Maintenant, l'impôt sur le cuivre donne au gouvernement une somme de 375.000 à 450.000 francs par an.

Si nous passons au commerce extérieur du cuivre et à la consommation à l'intérieur du pays, nous voyons qu'en 1853 la quantité exportée montait presque à 6.550 tonnes, d'une valeur de 10 millions de francs, tandis que l'importation de ce métal ne dépassait pas le chiffre de 50 tonnes. Jusqu'en 1866, l'exportation du cuivre, quoique tombée à 820 tonnes, dépassait encore l'importation, c'est-à-dire que la production du pays excédait encore les besoins de sa consommation intérieure. Depuis 1867, l'importation du cuivre augmente toujours et, en 1880, elle a atteint 10.900 tonnes, d'une valeur de 16.250.000 francs, tandis que l'exportation de ce métal tomba à la somme de 205.000 francs.

Le tableau ci-dessous montre les variations de l'exportation du cuivre pour les cinq dernières années :

ANNÉES	EXPORTATION DU CUIVRE RUSSE		
	En lingots	En feuilles	Total
	tonnes	tonnes	tonnes
1887	166	7	173
1888	56	5	61
1889	65	8	73
1890	79	9	88
1891	59	13	72

Dans ces derniers temps, c'est la Perse qui consomme la plus grande partie du cuivre russe provenant des usines du Caucase ; l'autre consommateur principal est l'Allemagne.

L'importation du cuivre, pour la même période, se résume dans le tableau suivant, qui nous montre que l'importation du cuivre en lingots monte graduellement :

ANNÉES	CUIVRE EN LINGOTS et en débris	CUIVRE EN FEUILLES barres et baguettes	TOTAL
	tonnes	tonnes	tonnes
1887	607	225	832
1888	420	134	554
1889	3.601	367	3.968
1890	4.032	361	4.393
1891	4.519	807	5.326

Le tableau suivant montre la part prise par les différents pays dans l'importation du cuivre en Russie :

PAYS	CUIVRE EN LINGOTS et débris			CUIVRE EN FEUILLES, en barres et baguettes		
	1889	1890	1891	1889	1890	1891
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Angleterre	1.918	2.230	2.041	162	183	226
Allemagne	924	1.353	1.878	177	156	393
Hollande	102	123	114	»	»	»
France	197	41	10	»	8	118
Belgique	36	10	»	10	15	»
Autriche-Hongrie	»	»	»	11	»	10
Italie	»	7	»	»	»	»
Turquie	»	»	»	4	8	»
Danemark	18	»	»	»	»	27

Le tarif des douanes de 1891 est le suivant pour le cuivre, l'aluminium, le nickel, le cobalt, le bismuth, le cadmium et autres métaux non spécialement dénommés ; le cuivre vert, le tombac, l'argentine, le métal anglais et tous autres alliages de métaux non précieux, hormis ceux spécialement dénommés (art. 143) :

1° En saumons, lingots, copeaux, limailles et débris, ainsi que le cuivre pulvérulent et en produits intermédiaires, 61f,05 par 100 kilogrammes.

2° En barres, baguettes et feuilles, 75f,70 par 100 kilogrammes.

Remarque. — Le cuivre et ses alliages, ainsi que les autres métaux dénommés dans le présent article et leurs alliages laminés ou tréfilés, d'une largeur ou d'un diamètre de 1/2 pouce (1cm,27) et au-dessous, acquittent les droits comme fil d'archal (art. 155) et notamment :

	Par 100 kg.	Par poud.
a) D'une épaisseur ou d'un diamètre à partir de 1/2 pouce (1cm,27) jusqu'au n° 25 inclusivement, d'après le calibre de Birmingham ; câbles télégraphiques de toute espèce	97f,68	ou 4 roubles.
b) Au-dessus du n° 25 jusqu'au n° 29 inclusivement	122f,10	ou 5 roubles.
c) Plus fin que le n° 29	146f,51	ou 6 roubles.

Plomb.

Tout le plomb produit en Russie provient de minerais argentifères. En général, la production du plomb dans le pays est très minime, comme le fait voir le tableau suivant relatif aux soixante dernières années :

ANNÉES	PLOMB produit	PRODUCTION moyenne du plomb par an	ANNÉES	PLOMB produit	PRODUCTION moyenne du plomb par an
	tonnes	tonnes		tonnes	tonnes
1831-1835	3.435	687	1871-1875	6.350	1.270
1836-1840	4.021	804	1876-1880	6.271	1.254
1841-1845	4.786	957	1881-1885	3.449	690
1846-1850 (*)	4.255	851	1886-1890	3.983	797
1861-1865	5.849	1 169	1891	556	556
1866-1870	7.804	1.561			

(*) Pour la période de 1850 à 1860 les chiffres complets de la production du plomb manquent.

Tout le plomb produit en Russie s'extrait de la galène argentifère, qu'on exploite : au Caucase (usine de l'État, à Alagir), en Sibérie (dans les districts de l'Altaï et de Nertchinsk, tous les deux du domaine du *Cabinet de Sa Majesté*) et dans les steppes des Kirghiz, où cette industrie est entre les mains des particuliers.

Comme produit spécial et unique, le plomb n'a été obtenu que dans une seule usine fondée, en 1881, dans le pays du Turkestan; cette usine n'a fonctionné que jusqu'en 1885.

Des gisements de galène argentifère sont connus encore sur la rive du Mourman, du gouvernement d'Arkhangelsk; pour l'exploitation de ces gisements, étudiés en détail seulement en 1890, il vient de se former une société privée.

Dernièrement des entrepreneurs privés ont aussi trouvé de riches gisements de minerais de zinc et de plomb dans le gouvernement d'Ekaterinoslav, et on parle d'y créer des usines pour la production du plomb, de l'argent et du zinc.

La production du plomb n'a donc lieu que dans quatre districts, et les quantités livrées par ces divers centres pendant les dix dernières années sont précisées dans le tableau suivant :

ANNÉES	ARRONDISSEMENT de l'Altaï	ARRONDISSEMENT de Nertchinsk	CAUCASE	STEPPES des Kirghiz	TOTAL
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1882	244	127	152	»	572 (1)
1883	268	113	162	»	543
1884	329	121	138	44	632
1885	274	125	149	52	715 (2)
1886	362	126	143	146	777
1887	510	137	157	186	990
1888	166	118	147	369	800
1889	109	129	163	177	578
1890	316	128	152	241	837
1891	183	157	152	64	556

(1) Dans cette quantité est compris le chiffre de 49 tonnes de plomb, produites par l'usine du Turkestan.
(2) Y compris 115 tonnes de la même usine.

Cette production si minime prouve clairement que l'approvisionnement de la Russie en un métal d'une si grande utilité et nécessité ne peut être obtenu que par l'importation. Et, en effet, le tableau ci-dessous nous montre que les quantités de plomb importées annuellement dépassent 20.000 tonnes :

ANNÉES	PLOMB en lingots et débris	PLOMB en rouleaux, feuilles et tuyaux	TOTAL
	tonnes	tonnes	tonnes
1887	15.209	2.462	17.671
1888	16.994	2.875	19.869
1889	16.554	3.143	19.697
1890	18 285	3.317	21.602
1891	17.758	2.578	20.336

Pour les trois dernières années, la provenance du plomb importé est donnée dans le tableau suivant :

PAYS	PLOMB EN LINGOTS et débris			PLOMB EN ROULEAUX, feuilles et tuyaux		
	1889	1890	1891	1889	1890	1891
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Angleterre	8.563	11.512	9.109	2.459	2.606	1.952
Allemagne	4.735	3.761	3.081	360	422	268
France	2.150	1.423	2.557	163	188	256
Belgique	685	709	2.439	31	21	14
Hollande	238	473	424	»	»	31
Etats-Unis	»	152	»	»	52	»
Danemarck	»	49	»	»	»	»
Autriche-Hongrie	21	25	62	7	13	21
Turquie	7	»	32	11	»	»
Italie	51	»	28	»	»	10

Le tarif des douanes de 1891, pour l'importation en Russie du plomb et de ses sous-produits, est le suivant (art. 146) :

	Par 100 kg.	Par poud.
1. Plomb en saumons et débris; litharge, silberglätte et cendres de plomb	2f,44	ou 10 copeks.
2. Plomb en rouleaux, feuilles, fils et tuyaux	7f,32	ou 30 copeks.
3. Métal de typographie en masse	4f,88	ou 20 copeks.

Zinc.

Toute la production du zinc, en Russie, est concentrée dans la partie sud de la Pologne, quoi qu'il y ait encore des gisements de minerais de zinc dans d'autres contrées de l'empire, par exemple au Caucase, dans le bassin houiller du Donetz, sur la rive du Mourman dans le gouvernement d'Arkhangelsk, en Sibérie et en Finlande.

Le tableau ci-dessous résume la production du zinc à partir de l'année 1836 :

ANNÉES	ZINC produit	PRODUCTION moyenne du zinc par an	ANNÉES	ZINC produit	PRODUCTION moyenne du zinc par an
	tonnes	tonnes		tonnes	tonnes
1836-1840	14.023	2.805	1866-1870	15.925	3.185
1841-1845	12.589	3.147	1871-1875	17.246	3.449
1846-1850	13.495	3.027	1876-1880	22.731	4.546
1851-1855	7.329	1.466	1881-1885	21.586	4.317
1856-1860	7.137	1.427	1886-1890	19.152	3.830
1861-1865	13.613	2.723	1891	3.673	3.673

En Pologne, la production du zinc est basée exclusivement sur le traitement de la calamine, dont les gisements sont situés dans les environs de la ville d'Olkusz ; depuis des siècles, on y exploitait la galène argentifère existant dans les couches supérieures du terrain ; on en extrait actuellement la calamine. Ce minerai est situé dans les dolomites de la formation du calcaire conchylien (muschelkalk) et contient de 8 à 15 p. 100 de zinc.

Une partie du zinc produit se répand dans les divers marchés de l'Empire, sous forme de lingots, principalement pour la fabrication du laiton ; le reste est laminé en feuilles dans deux usines situées également en Pologne, et dont la production annuelle est de 2.500 à 3.300 tonnes ; dans la même région, se trouve aussi une usine de blanc de zinc dont la production annuelle est de plus de 800 tonnes.

Depuis 1888, le zinc en lingots est soumis à un impôt de 1f,22 par 100 kilogrammes, ce qui donne au gouvernement un revenu annuel de 45.000 francs.

La production du zinc est loin de suffire aux besoins toujours croissants du pays, de sorte que des quantités considérables de ce métal sont importées en Russie, comme on le voit dans le tableau suivant :

ANNÉES	ZINC EN LINGOTS	ZINC EN FEUILLES	TOTAL
	tonnes	tonnes	tonnes
1887	660	137	797
1888	996	386	1.382
1889	3.052	946	3.998
1890	4.899	557	5.456
1891	4.827	318	5.145

L'importation du zinc en feuilles, qui atteignait, en 1879, le chiffre de 2.670 tonnes, a commencé à diminuer sensiblement depuis 1880, quand a été établie, en Pologne, une nouvelle usine pour la fabrication de ce produit.

Le tableau suivant nous montre la part que prennent les divers pays dans l'importation du zinc en Russie :

PAYS	ZINC EN LINGOTS			ZINC EN FEUILLES		
	1889	1890	1891	1889	1890	1891
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allemagne	2.727	4.161	3.884	793	462	147
Angleterre	144	377	566	52	7	»
Hollande	135	233	191	»	»	»
Belgique	46	66	163	15	34	36
Danemarck	15	31	»	»	»	»
Autriche-Hongrie	20	20	10	11	7	«
France	»	»	»	»	46	»

Le tarif des douanes de 1891 pour le zinc importé est le suivant (art. 147) :

	Par 100 kg.	Par poud.
1. Zinc en saumons et débris	12f,21	ou 50 copeks.
2. Zinc en feuilles	24f,42	ou 1 rouble.

Remarque. — Le zinc en feuilles recouvertes de nickel ou d'autres métaux communs acquitte 30 p. 100 en sus, c'est-à-dire 31f,75 par 100 kilogrammes.

Étain.

Les gisements d'étain ne sont connus qu'en Finlande et dans le pays Transbaïcalien.

Maintenant la production de l'étain n'a lieu que dans l'usine de Pittkaranda, en Finlande ; la production de cette usine, en général très minime, s'est réduite encore notablement depuis 1870 ; dans les derniers temps, elle commence à remonter. Cette usine, pour les dix dernières années, a livré au commerce les quantités suivantes de ce métal :

ANNÉES	ÉTAIN PRODUIT	ANNÉES	ÉTAIN PRODUIT
	kilogr.		kilogr.
1882	5.242	1887	10.303
1883	18.296	1888	19.427
1884	12.530	1889	11.810
1885	14.087	1890	13.170
1886	17.002	1891	9.435

Évidemment ces quantités sont tout à fait insuffisantes pour les besoins du pays ; c'est ce qui explique les proportions considérables de l'importation; en voici les chiffres :

ANNÉES	IMPORTATION de l'étain en lingots et en feuilles	ANNÉES	IMPORTATION de l'étain en lingots et en feuilles
	tonnes		tonnes
1887	1.818	1890	2.644
1888	2.355	1891	2.240
1889	2.173		

Pour les trois dernières années, l'étain a été importé, en Russie, principalement des pays suivants :

PAYS	1889	1890	1891
	tonnes	tonnes	tonnes
Angleterre	1.496	1.517	1.366
Hollande	355	562	394
Allemagne	256	293	210
France	10	234	241
Belgique	31	10	10

Les droits d'entrée pour l'étain sont fixés, par le tarif des douanes de 1891, comme il suit (art. 144) :

	Par 100 kg.	Par poud.
1. L'étain en lingots, baguettes et débris.	10f,98	ou 45 copeks.
2. L'étain en feuilles, tain pour miroirs, feuilles de plomb étamées	24f,42	ou 1 rouble.

Remarque. — Les feuilles d'étain et les feuilles de plomb étamées, peintes ou recouvertes de vernis de couleur, acquittent les droits d'après le paragraphe 2 du présent article avec un supplément de 50 p. 100, c'est-à-dire de 36f,63 par 100 kilogrammes (un rouble 50 copeks par poud).

Mercure.

Un riche gisement de mercure a été découvert, en 1879, dans le gouvernement d'Ekaterinoslav, près de la station de Nikitovka du chemin de fer d'Azov.

Dans ces derniers temps, on a trouvé quelques autres gisements au Caucase, dans le Daghestan, mais ils ne sont pas encore mis en exploitation. Des gisements de minerai de mercure sont aussi connus dans le pays Transbaïcalien.

Le gisement de Nikitovka est enclavé dans les couches du terrain carbonifère et se présente sous forme de fissures dans le grès, remplies de cinabre. Lors de la mise en exploitation de ce gisement, on a reconnu qu'il est d'une très grande étendue et qu'il avait déjà été exploité ; ce dont on a pu se rendre compte par les restes d'anciens travaux à découvert, remplies de minerai calciné. Quoique ces anciens travaux se fussent étendus sur près de deux kilomètres, cependant on n'a pu trouver aucun indice permettant de les rapporter à une époque déterminée.

L'exploitation de ce gîte, commencée en 1885, a été entreprise par la société *Auerbach et C°;* dans les commencements, on n'a bâti qu'une petite usine, dont la production était en rapport avec les besoins en mercure du pays, c'est-à-dire environ 66 tonnes ; mais déjà en 1887, quand on fut persuadé de la possibilité d'un large écoulement de ce produit à l'étranger, l'usine fut considérablement agrandie. L'usine et la mine sont remarquablement aménagées ; l'usine est mieux installée, elle travaille plus rationnellement et obtient un rendement

plus élevé que les anciennes usines d'Idria en Autriche et d'Almaden en Espagne. Actuellement, sur un emplacement où s'étendaient des steppes complètement désertes, on voit une vaste cité ouvrière, contenant plus de 1.500 habitants.

La production annuelle de la mine et de l'usine est donnée dans le tableau suivant :

ANNÉES	MINERAI exploité	MERCURE métallique produit	ANNÉES	MINERAI exploité	MERCURE métallique produit
	tonnes	tonnes		tonnes	tonnes
1887	12.486	64	1890	60.388	292
1888	32.846	165	1891	51.715	324
1889	50.360	168			

En 1891, la mine et l'usine employaient 746 ouvriers.

Voyant que la production du mercure est devenue une industrie solidement établie, le gouvernement a cru possible de lui imposer, en 1892, un impôt de 7f,60 par 100 kilogrammes de mercure produit. Cet impôt doit procurer au gouvernement une somme d'environ 30.000 fr. par an.

Jusqu'en 1886, l'importation du mercure, en Russie, était de 33 à 82 tonnes annuellement, pour la somme de 212.500 à 500.000 francs; mais, depuis 1887, cette importation a été réduite à 4 ou 5 tonnes, et maintenant de grandes quantités de ce métal passent à l'étranger. En 1889, il a été exporté 128 tonnes ; en 1890, 227 tonnes et, en 1891, 286 tonnes, ayant une valeur de 2.066.233 francs. Toute cette quantité de mercure a été expédiée en Allemagne.

Le mercure importé en Russie acquitte, en vertu du tarif des douanes de l'année 1891 (art. 145), un droit d'entrée de 58f,60 par 100 kilogrammes.

Manganèse.

Dans les limites de l'Empire russe, on connaît des gisements de manganèse au Caucase, au Sud de la Russie et dans les monts Ourals.

L'exploitation principale des minerais de manganèse a lieu dans les parties Sud du Caucase et se concentre presque exclusivement dans le district de Charapansk du gouvernement de Koutaïs ; quelques petites exploitations existent aussi dans le district de Koutaïs et dans le gouvernement de Tiflis.

Les gisements de manganèse, dans le district de Charapansk, près du bourg Tchiatouri, ont une superficie de 128 kilomètres carrés ; ils sont recoupés par la rivière Kviril et ses affluents ; ces cours d'eau, ayant leurs lits au fond de profonds ravins, ont mis à découvert, en divers points, ce minerai, qui constitue une couche de 1 à 2 mètres, comprenant de 6 à 11 filets de minerai pur, d'une épaisseur de 2 à 13 centimètres chacun.

L'exploitation de ce gîte a été commencée en 1879 par de gros entrepreneurs, qui eurent peu après à subir la concurrence des petits propriétaires et, de plus, la baisse des prix du produit survenue à cette époque.

Cet état de choses força les gros exploitants à abandonner peu à peu leurs travaux, de sorte que maintenant toute cette industrie est entre les mains de petits propriétaires qui, pour la plupart, s'entendent fort peu à ce genre de travaux ; aussi sont-ils menés d'une façon fort peu rationnelle.

Au commencement, les exploitants rencontrèrent de grandes difficultés pour le transport du minerai de la mine au chemin de fer sur une distance de près de 50 kilomètres ; mais cet état de choses a pris fin par suite de la construction d'un embranchement de chemin de fer, qui réunit les exploitations à la ligne principale du chemin de fer Transcaucasien.

Les minerais exploités dans le district de Charapansk contiennent jusqu'à 56 p. 100 de manganèse métallique et se distinguent par leur pureté, ce qui est constaté entre autres par des analyses faites à Newcastle.

Non loin de la ligne du chemin de fer Transcaucasien et plus près du rivage de la Mer Noire se trouvent les gisements de Samtredi et de Novo-Senaki (à proximité des stations du chemin de fer du même nom); ces gisements donnent pourtant un minerai moins riche que celui de Tchiatouri.

Dans les monts Ourals, les minerais manganésifères s'exploitent dans le gouvernement de Perm, dans l'arrondissement des usines de Nijni-Tagilsk, et dans le gouvernement d'Orenbourg, dans les terres du district de Verkhne-Ouralsk.

Dans le gouvernement d'Ekaterinoslav, des gisements de minerais de manganèse sont connus près de la ville de Nikopol, où ils se présentent sous forme de couches atteignant jusqu'à un demi-mètre de puissance, enclavées dans les dépôts de la formation éocène. L'exploitation de ces gisements a été entreprise en 1886 dans deux mines séparées. Le minerai, d'après les analyses exécutées à l'étranger, contient près de 57 p. 100 de peroxyde de manganèse.

Les quantités totales de minerais manganésifères exploités en Russie dans les dix dernières années, sont données dans le tableau suivant :

ANNÉES	CAUCASE	OURAL	GOUVERNEMENT d'Ekaterinoslav	TOTAL
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1882	12.498	1.933	»	14.431
1883	15.971	1.081	»	17.052
1884	20.688	1.446	»	22.134
1885	59.636	896	»	60.532
1886	69.486	819	4.095	74.400
1887	53.680	819	3.708	58.207
1888	29.857	1.355	1.468	32 680
1889	69.504	2.934	5.594	78.032
1890	171.467	2.351	8.650	182.468
1891	100.344	1.926	10.811	113.081

La plus grande partie des minerais manganésifères est exportée à l'étranger, et ce n'est qu'une quantité relativement minime qu'on traite sur place.

L'exportation des minerais de manganèse, dans les cinq dernières années, a été la suivante :

ANNÉES	MINERAIS de manganèse exportés	ANNÉES	MINERAIS de manganèse exportés
	tonnes		tonnes
1887	60 439	1890	133.161
1888	49.839	1891	74.931
1889	56.352		

Pendant les trois dernières années, l'exportation du minerai de manganèse a été répartie entre les pays de destination indiqués au tableau ci-dessous ; il y a lieu cependant de remarquer que le minerai indiqué comme exporté vers la Hollande était, selon toute probabilité, destiné à l'Allemagne. De même, il ne faut pas perdre de vue que les chargements expédiés par eau vers Gibraltar sont notés comme à destination de l'Angleterre, alors qu'en réalité, quelques-uns des navires, arrivés à Gibraltar, y reçoivent des ordres nouveaux qui les dirigent finalement vers tel ou tel port. On ne peut donc attacher qu'une confiance limitée aux chiffres de la statistique douanière à ce sujet :

PAYS	MINERAIS DE MANGANÈSE		
	1889	1890	1891
	tonnes	tonnes	tonnes
Angleterre	38.466	86.405	40.739
Hollande	5.717	24.025	23.566
France	1.992	8.378	835
Allemagne	4.970	7.497	4.270
Etats-Unis	154	6.554	2.667
Belgique	1.715	1.717	2 319

Cobalt et Nickel.

Le cobalt n'est produit que dans la seule usine de Daschkessan au Caucase, dans le gouvernement d'Elisabetpol. C'est en 1867, pour la première fois, qu'on fabriqua, dans cette usine, 21 tonnes de mattes arsénieuses de cobalt ; depuis, cette industrie a été continuée, quoique avec des chômages de plusieurs années.

Les gisements de minerais de nickel sont connus sur plusieurs points de l'Oural, ainsi qu'au Daghestan, et au Caucase.

Les plus grands amas de ce minerai connus jusqu'à présent sont situés dans l'arrondissement minier de Revdinsk, dans l'Oural ; il y a cependant des raisons de supposer aussi l'existence de pareils amas sur d'autres points de cette chaîne.

Le gisement de Revdinsk a été découvert en 1850 ; on y a organisé une exploitation, qui est la seule en Europe contenant exclusivement des minerais oxydés presque dépourvus de soufre et d'arsenic. La richesse du minerai est variable, mais on peut admettre 2 p. 100 comme teneur moyenne. Les premiers essais de traitement de ces minerais eurent lieu dans la période 1860-1870 ; cependant les renseignements exacts sur cette industrie ne datent que de 1874 ; depuis cette époque, la production totale du nickel, poursuivie avec des chômages de plusieurs années, peut être estimée à près de 59 tonnes. L'importance que prend progressivement ce métal dans l'industrie et même dans la fabrication du matériel de guerre, ne tardera probablement pas à donner un intérêt tout à fait exceptionnel aux gisements de nickel de l'Oural, et il y a tout lieu de présumer que, grâce à la rareté générale des minerais de nickel, la Russie pourra devenir une des principales sources de ce métal.

Industrie sidérurgique.

L'exploitation des minerais de fer en Russie et leur traitement remontent à plusieurs siècles : dans le *gouvernement de Novgorod*, aux environs de la ville d'Oustioujna, qui reçut même le surnom de Gelesnopolsk (champ de fer) et autour de laquelle on trouve de nombreux restes de cette industrie, dans le *gouvernement d'Olonetz*, et, près du bourg Dédilov, dans le *gouvernement de Toula*.

La fabrication de la fonte et la préparation du fer dans des établissements d'une plus ou moins grande importance prirent naissance avant tout dans la zone moyenne de la Russie et dans les gouvernements d'Olonetz et de Perm, c'est-à-dire dans des contrées non seulement riches en minerais, mais aussi abondamment pourvues de bois et dont les conditions économiques et techniques étaient favorables au développement de pareilles usines. Graduellement leur nombre s'est accru et l'industrie sidérurgique s'est propagée dans des contrées jusqu'alors dépourvues de cette industrie ; néanmoins ses centres principaux sont restés l'Oural, le Centre de la Russie et la Pologne ; dans ces derniers temps, le Sud de la Russie est devenu à son tour un des plus grands producteurs de fonte, fer et acier (*).

Les usines de la partie orientale de la Russie et notamment des gouvernements de Perm, de Viatka, d'Oufa et d'Orenbourg, appartenant au grand district minier de l'Oural, traitent principalement le minerai magnétique et les hématites brunes ; les hématites rouges, les minerais carbonatés et les sidérites ne jouent qu'un rôle relativement insignifiant.

(*) Voir la carte des régions de production de la fonte, du fer et de l'acier, Pl. VIII.

Les gisements des minerais magnétiques les plus remarquables par leur abondance sont : les montagnes Blagodat (Grâce divine) et Vissokaïa (Haute montagne) dans la zone moyenne de l'Oural (gouvernement de Perm), et la montagne Magnitnaïa (Magnétique) dans le sud de l'Oural (gouvernement d'Orenbourg). La Vissokaïa, qui approvisionne plusieurs arrondissements miniers, livre annuellement plus de 131.000 tonnes d'un minerai qui contient de 63 à 69 p. 100 de fer et qui, de plus, peut être traité sans aucune addition de fondant. La montagne Blagodat donne annuellement environ 50.000 tonnes de minerai d'une teneur de 52 à 58 p. 100 de fer, mais qui réclame l'addition d'une petite quantité de castine. Le minerai de la montagne Magnitnaïa est très pur et riche (jusqu'à 66 p. 100 de fer) ; néanmoins, ce gisement est exploité très faiblement à cause de son éloignement considérable des usines et du manque de combustible dans ses environs. A côté de ces principaux gisements de minerais magnétiques, on en trouve encore quelques-uns plus ou moins considérables sur le versant Est de l'Oural. Dans ces derniers temps, on a commencé à exploiter au nord de l'Oural un gisement de fer spéculaire, pour le traitement duquel on a construit, en 1890, l'usine de Koutimsk.

Les gisements les plus puissants d'hématite brune, qui est un minerai de première qualité, particulièrement propre à la production d'une fonte bonne pour le procédé Bessemer, se trouvent dans la zone moyenne et dans le sud de l'Oural. Ces minerais rendent près de 60 p. 100.

Les gîtes de sidérites se rencontrent dans plusieurs endroits du gouvernement de Viatka et dans la partie Ouest de celui de Perm. Ce minerai est généralement peu riche et un peu phosphoreux.

Les gisements d'hématites rouges les plus remarquables sont ceux du versant Ouest de l'Oural, dans sa

zone moyenne ; ils produisent un minerai qui contient jusqu'à 64 p. 100 de fer.

En parlant des minerais de fer du pays de l'Oural, on ne saurait passer sous silence les gisements de fer chromé qui s'y rencontrent en plusieurs endroits. Ce minerai est en partie employé dans les hauts-fourneaux, en partie utilisé dans une usine de produits chimiques et en partie exporté. Le fer chromé de l'Oural contient de 35 à 38 p. 100 d'oxyde de chrome, et la plupart des gisements livrent un minerai contenant de 40 à 50 p. 100 de fer.

Dans le Centre de la Russie, où les usines pour la production de la fonte et du fer se trouvent dans les gouvernements de Nijni-Novgorod, de Vladimir, de Riazan, de Toula, de Kalouga et d'Orel, on exploite des hématites brunes et des sidérites. En général, les minerais de la zone moyenne de la Russie sont facilement réductibles, mais ne se distinguent ni par leur richesse, ni par leur pureté ; ils contiennent presque toujours du phosphore, ce qui ne les empêche pas de donner une bonne fonte de moulage.

Le gouvernement d'Olonetz et la Finlande sont riches en minerais de lacs et de marais ; mais ces minerais sont pour la plupart pauvres et phosphoreux ; on trouve néanmoins dans ces mêmes contrées d'assez nombreux gisements de minerais de fer magnétique et de fer spéculaire, qui jusqu'à présent ne sont pas exploités.

Dans la partie Ouest de la Russie, dans les gouvernements de Vilna et de Minsk et dans la Volhynie on rencontre de nombreux gisements d'hématites brunes.

Dans le Sud et l'Ouest de la Pologne on exploite de grandes quantités de sidérites argileuses ayant une teneur de 27 à 35 p. 100 de fer et d'hématites brunes tenant de 35 à 45 p. 100 de fer ; ces minerais sont la plupart phosphoreux.

Dans le Sud de la Russie, le bassin houiller du Donetz,

déjà au moment où il fut étudié par le savant français M. F. Le Play, passait pour un pays très riche en gisements de minerais de fer. En outre, au Sud de la Russie sur les frontières des gouvernements de Kherson et d'Ekaterinoslav, notamment dans les environs de Krivoï-Rog, se trouvent des gisements énormes de minerais très riches et purs, d'une teneur de 60 à 68 p. 100 de fer ; ce sont principalement des minerais de fer spéculaire et magnétique et des hématites rouges. L'exploitation de ces gisements s'est développée rapidement ; elle a, en 1890, atteint le chiffre de 311.220 tonnes, et en 1891, celui de 294.840 tonnes, provenant de sept mines exploitées par travaux à ciel ouvert. On connait encore un gisement très abondant de minerai de fer magnétique près de Korsak-Moguila, dans le gouvernement de la Tauride, à 30 kilomètres de la ville de Berdiansk, l'un des ports de la mer d'Azov.

Le tableau suivant donne les chiffres de la production des mines de fer dans les diverses contrées de la Russie pour les cinq dernières années :

LIEUX DE PRODUCTION	1887		1888		1889		1890		1891	
	Nombre des mines en exploitation	Minerai exploité	Nombre des mines en exploitation	Minerai exploité	Nombre des mines en exploitation	Minerai exploité	Nombre des mines en exploitation	Minerai exploité	Nombre des mines en exploitation	Minerai exploité
		tonnes		tonnes		tonnes		tonnes		tonnes
Oural	490	777.632	592	806.956	498	837.210	435	921.673	540	1.009.458
Centre de la Russie	20	136.879	20	141.345	20	107.544	22	201.028	20	182.657
Sud de la Russie	15	163.936	20	229.236	22	344.109	22	376.699	25	472.010
Pologne	68	143.857	63	198.999	79	217.960	81	219.405	90	211.841
Sibérie	9	13.612	7	13.032	4	12.829	5	12.447	6	16.811
Nord de la Russie	14 (lacs)	8.346	17 (lacs)	7.882	1 (mine) 13 (lacs)	16.542	15 (lacs)	9.361	27 (lacs)	12.536
Finlande	63 (lacs)	111.256	132 (lacs)	36.093	1 (mine) 164 (lacs)	43.571	1 (mine) 180 (lacs)	51.188	1 (mine) 175 (lacs)	53.065
Totaux	692 (mines) et 77 (lacs)	1.355.518	692 (mines) et 149 (lacs)	1.433.513	625 (mines) et 177 (lacs)	1.639.765	566 (mines) et 195 (lacs)	1.791.801 (*)	682 (mines) et 202 (lacs)	1.958.378

(*) Y compris 2.000 tonnes de minerai exploité au Caucase.

Les quantités de différents minerais, fondus dans les usines de Russie pendant la période des dix dernières années, sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

ANNÉES	MINERAIS TRAITÉS AUX FOURNEAUX						
	Minerai de fer magnétique	Hématite brune	Hématite rouge	Sphérosidérite, fers spathiques, fers argileux, etc.	Minerais des lacs et des marais	Autres minerais	Scories, débris de fonte, etc.
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1882	181.736	574.021		232.367			11.892
1883	199.721	509.926		278.509			20.377
1884	215.053	525.142		234.398			27.174
1885	216.947	562.375		277.346			35.285
1886	228.075	604.078		209.664			43.800
1887	256.151	688.435		275.020			58.673
1888	298.951	705.143	244.357		82.965	»	69.718
1889	209.058	837.034	183.554	139.787	30.483	»	93.825
1890	289.975	759.180	357.674	229.533	48.124	8.075	123.603
1891	297.215	804.766	381.457	325.782	50.041	10.680	120.442

Les chiffres de ce tableau nous montrent que, de 1882 à 1891, la consommation des minerais de fer magnétiques a augmenté de 64 p. 100, tandis que l'augmentation n'a été que de 40 p. 100 pour les hématites brunes.

Les hématites rouges sont abondamment consommées par les usines du Sud de la Russie, qui s'approvisionnent dans les exploitations de Krivoï-Rog.

Ce qu'il y a de plus remarquable, c'est la quantité toujours croissante de scories d'usines à fer qui sont passées dans les hauts-fourneaux ; cette quantité, qui n'était, en 1882, que de 11.892 tonnes, a atteint, en 1891, un total de 120.442 tonnes, c'est-à-dire que la consommation a plus que décuplé. Près de la moitié de cette masse de scories, 51.777 tonnes, a été refondue dans les 11 hauts-fourneaux de la Pologne, tandis que, dans les 40 usines de l'Oural, la consommation des scories a été bien moindre et égale à la consommation des 18 usines

du Centre de la Russie (23.325 tonnes). Ce fait s'explique facilement : dans l'Oural, les minerais de fer sont beaucoup plus riches que les scories et reviennent à bon marché, tandis que les usines de la Pologne ne disposent que de minerais pauvres et assez chers.

Comme combustible dans la fabrication de la fonte, on emploie principalement le charbon de bois, qu'on prépare en partie dans des fours, mais le plus souvent en meules ; le pin et le bouleau sont les essences dont on se sert généralement pour la préparation du charbon ; en Pologne, on emploie aussi le charbon de chêne et de hêtre. Quelquefois, on ajoute au charbon de bois, du bois non carbonisé (dans la zone moyenne de la Russie et en Finlande) ou de la tourbe (en Pologne).

En 1891, on comptait, en feu, 16 hauts-fourneaux marchant exclusivement au combustible minéral ; au coke : 5 en Pologne et 10 dans le Sud de la Russie, et, de plus, un fourneau à l'anthracite dans le Sud de la Russie.

Les hauts-fourneaux au charbon de bois sont, pour la plupart, d'une construction ancienne avec gros massifs en briques ou en pierres ; ils sont soufflés au vent froid ou faiblement chauffé et à faible pression. La hauteur et la capacité des fourneaux sont très variables ; en Finlande, dans le gouvernement d'Olonetz et en Pologne, les fourneaux au charbon de bois sont ordinairement bas et les hauteurs ne dépassent pas 9 mètres à $10^{m},50$; dans l'Oural, au contraire, ils sont grands et hauts (15 mètres et plus) ; les fourneaux du Centre de la Russie tiennent le milieu entre les précédents.

Les fourneaux nouvellement construits se distinguent ordinairement par leur grandeur et le nombre des tuyères (de 3 à 12) qui, souvent, sont à courant d'eau ; l'accès de l'ouvrage du fourneau est libre de tous côtés ; l'ouvrage et la cuve sont ordinairement en briques ; l'enveloppe du fourneau est relativement mince. Les fourneaux du sys-

tème écossais ne sont pas rares; on en rencontre même qui n'ont aucune enveloppe extérieure. Tous ces fourneaux sont munis de prises de gaz et marchent à l'air chaud.

Les fourneaux au combustible minéral sont, pour la plupart, très grands et des systèmes les plus récents; leur production annuelle est considérable.

Pour donner une idée des changements qu'a subis la fabrication de la fonte, nous donnons, ici, un tableau comparatif du nombre des hauts-fourneaux à air froid et à air chaud, au combustible minéral et au combustible végétal :

ANNÉES	NOMBRE DE HAUTS FOURNEAUX			PRODUCTION DE LA FONTE		
	à air froid	à air chaud	Total	au combustible végétal	au combustible minéral	au combustible mixte
				tonnes	tonnes	tonnes
1882	140	90	200	421.911	40.612	»
1883	106	96	202	436.004	44.981	»
1884	91	107	198	464.009	45.501	»
1885	88	107	195	469.461	49 198	8.867
1886	85	107	192	444.644	67.859	19.592
1887	70	119	189	494.427	98.130	19.879
1888	67	133	200	509.150	135.425	22.348
1889	74	139	213	517.654	196.039	26.360
1890	69	145	214	611.410	299.400	15.644
1891	70	152	222	668.675	321.118	14.951

Les chiffres ci-dessus nous montrent qu'en 1882 50 p. 100 des fourneaux marchaient encore à l'air froid, tandis qu'en 1891 il n'en reste plus que 31 p. 100. Pendant cette même période, le nombre des hauts-fourneaux au combustible minéral s'est accru de 3 à 16. Pour ce qui concerne le tonnage des fontes produites au combustible minéral, il n'était, en 1882, que de 7,7 p. 100 de la production totale, tandis qu'en 1891 il atteignait le chiffre de 32 p. 100; nous voyons donc que, pendant les dix dernières années, la production de ces fontes est devenue huit fois plus considérable.

Les usines, pour la production de la fonte et du fer,

anciennement établies en Russie, étaient ordinairement situées près de cours d'eau endigués et disposaient d'une force hydraulique considérable. Pour mettre en mouvement les machines, on se servait de roues hydrauliques ordinaires; maintenant, on tâche de les remplacer par des turbines et par des machines à vapeur.

Le tableau suivant fournit les nombres relatifs aux moteurs qui étaient en activité dans les usines sidérurgiques en 1882 et en 1891 :

MACHINES MOTRICES	1882		1891	
	Nombre	Chevaux-vapeur	Nombre	Chevaux-vapeur
Roues hydrauliques. . . .	1.547	27.097	910	19.993
Turbines	163	8.261	384	19.357
Machines à vapeur	726	31.432	988	64.894
Locomobiles	74	»	169	3.046

Ces données montrent clairement la tendance à améliorer les moteurs mécaniques.

Dans l'Oural, les hauts fourneaux produisent, pour la plupart, de la fonte d'affinage, surtout si le minerai traité est du fer magnétique. Grâce à la pureté relative du minerai provenant des principaux gisements de l'Oural, la fonte produite est également très pure et souvent parfaitement bonne pour la fabrication de l'acier. Une fonte excellente pour moulage est produite aussi par quelques usines des gouvernements de Perm et de Viatka. Les usines de Kousinsk et Kaslinsk sont les plus renommées pour la qualité de leur fonte de moulage.

Dans la zone moyenne de la Russie, en Pologne et en Finlande, on produit, à la fois, de la fonte de moulage et de la fonte d'affinage. Les usines du gouvernement d'Olonetz produisent exclusivement de la fonte de moulage, tandis que, dans les vastes usines du Sud de la Russie marchant au combustible minéral, il n'y a qu'un seul haut-fourneau qui produise de la fonte de moulage.

La plus grande partie de la fonte produite en Russie, sert à la fabrication du fer et de l'acier ; cette fabrication emploie le combustible fourni par les mêmes forêts qui fournissent le charbon de bois destiné à la fonte du minerai ; ce n'est que dans le Sud de la Russie et en Pologne qu'on emploie, pour l'affinage, de la houille exploitée dans le pays même. Les usines pour la fabrication du fer et de l'acier, de Saint-Pétersbourg et de ses environs, et même quelques-unes des usines du Centre de la Russie, travaillent au charbon étranger, principalement anglais.

En abordant la fabrication du fer, nous ferons remarquer que, jusque vers 1840-1845, il était produit exclusivement au foyer d'affinage ; ce n'est que depuis 1845 que les usines de l'Oural ont commencé à remplacer les vieux fourneaux à loupes par des feux comtois, pour ensuite introduire peu à peu, d'abord le puddlage ordinaire et, enfin, les fours de puddlage et de réchauffage perfectionnés, chauffés au gaz. C'est vers 1850-1855 que le puddlage a été, à son tour, employé dans les usines du Centre de la Russie.

La fabrication du fer aux feux d'affinage se maintient, jusqu'à présent, dans l'Oural, tandis que, dans les autres parties de la Russie, ce procédé cède complètement la place au puddlage. Sur le nombre total de 437 feux soufflés, qui marchaient en Russie en 1891, la plus grande partie (357 feux, c'est-à-dire 82 p. 100) appartenait aux usines de l'Oural, dont le quart de la production est, actuellement, encore obtenu au feu d'affinerie.

Ce fait s'explique par deux raisons : d'abord parce que les usines de l'Oural qui marchent toutes au combustible végétal, se trouvent de plus en plus éloignées des forêts qui leur livrent le combustible, de sorte que le transport du bois nécessaire au puddlage devient de plus en plus coûteux, tandis que le charbon de bois, employé dans les feux d'affinerie, est fait en forêt et est, par suite, d'un

transport plus économique, et secondement parce que quelques marchés, notamment celui de l'Asie, réclament spécialement cette sorte de fer.

Les fours de puddlage, employés en Russie, sont soit du système ordinaire, au gaz sans vent forcé, soit du système Siemens. Les fours au gaz sans vent forcé sont construits, pour la plupart, d'après le système Boëtius. Quoique les usines, produisant le fer puddlé, soient en général d'une construction plus récente et présentent des dispositions plus modernes que les usines pour la production de la fonte ou du fer affiné au feu d'affinerie, cependant elles sont encore loin d'être toutes disposées de façon à utiliser la chaleur perdue des fours.

La production de l'acier ne s'est accrue que dans ce dernier quart de siècle ; nous indiquerons les causes de ce retard quand nous étudierons la fabrication des rails.

Nous nous contenterons, ici, de mentionner l'invention, par M. l'ingénieur Obouchoff, d'un procédé spécial pour la fusion en grand de l'acier au creuset. A l'origine de cette fabrication, le produit obtenu ne servait qu'à la confection des cuirasses et des armes blanches ; mais, bientôt, elle a été employée à la coulée des bouches à feu et c'est dans ce but qu'a été construite une fabrique spéciale de canons aux usines de Zlataoust, dans la partie Sud de l'Oural. Cette fabrique a livré des produits d'une qualité supérieure ; mais, en raison de l'extrême difficulté du transport des canons des usines de Zlataoust jusque dans les forteresses, situées principalement sur les rives de la Baltique et de la Mer Noire, le gouvernement s'est décidé, vers l'année 1860, à créer une nouvelle usine pour la fabrication des canons en fonte et en acier sur le fleuve Kama, près de Perm ; on y introduisit le procédé de la fonte de l'acier au creuset. Cette usine fut construite par M. l'ingénieur des mines Woronzoff, qui y installa, en 1875, le fameux marteau-pilon de 50 tonnes avec cha-

botte en fonte pesant 525 tonnes. Cette chabotte, qui était la première d'un pareil poids, fut coulée en une seule pièce.

Quant à M. l'ingénieur Obouchoff, après la suppression de la fabrication des canons à Zlataoust, il a fondé une nouvelle usine pour la coulée des canons en acier à Saint-Pétersbourg. Cette usine appartient maintenant à l'État.

La Russie a fait tout ce qui dépendait d'elle pour ne pas être devancée dans la fabrication de l'acier par les pays étrangers. Dès qu'on entendit parler du procédé Bessemer, on entreprit immédiatement des séries d'expériences dans plusieurs usines de l'État et des particuliers. Il en a été de même pour la production de l'acier provenant de matières premières phosphoreuses par le moyen de la déphosphoration.

Les trois tableaux suivants présentent la marche du développement de l'industrie sidérurgique en Russie : pour la fonte, à partir de 1822 ; pour le fer, à partir de 1837, et pour l'acier, à partir de 1847 jusqu'à ces derniers temps :

ANNÉES	FONTE produite	PRODUCTION moyenne de la fonte par an	ANNÉES	FONTE produite	PRODUCTION moyenne de la fonte par an
	tonnes	tonnes		tonnes	tonnes
1822-1825	599.773	149.943	1861-1865	1.446.814	289.363
1826-1830	879.801	175.960	1866-1870	1.604.935	320.987
1831-1835	859.921	171.988	1871-1875	1.950.606	390.121
1836-1840	894.290	178.858	1876-1880	2.141.765	428.353
1841-1845	917.783	183.556	1881-1885	2.450.723	490.145
1846-1850	1.024.004	204.809	1886-1890	3.477.961	695.592
1851-1855	1.141.974	228.395	1891	1.004.745	1.004.745
1856-1860	1.356.423	271.285			

ANNÉES	FER PRODUIT	PRODUCTION moyenne du fer par an	ANNÉES	FER PRODUIT	PRODUCTION moyenne du fer par an
	tonnes	tonnes		tonnes	tonnes
1837-1840	444.457	111.114	1866-1870	1.080.459	216.092
1841-1845	625 188	125.038	1871-1875	1.382.578	276.516
1846-1850	716.845	143.369	1876-1880	1.404.964	280.993
1851-1855	884.708	176.942	1881-1885	1.636.849	327.370
1856-1860	956.770	191.354	1886-1890	1.957.910	391.582
1861-1865	921.640	184.328	1891	448.022	448.022

ANNÉES	ACIER produit	PRODUCTION moyenne de l'acier par an	ANNÉES	ACIER produit	PRODUCTION moyenne de l'acier par an
	tonnes	tonnes		tonnes	tonnes
1847-1850	4.101	1.025	1871-1875	46.910	9.382
1851-1855	5 696	1.139	1876-1880	643.756	128.751
1856-1860	8.505	1.701	1881-1885	1.162.735	232.547
1861-1865	13.296	2.659	1886-1890	1.326.717	265.343
1866-1870	36.567	7.313	1891	433.478	433.478

Ces chiffres nous montrent que, dans ces soixante-dix dernières années, la production de la fonte en Russie ne s'est accrue que de six fois et demie, de sorte que, la Russie, qui vers 1820 produisait une fois et demie plus de fonte que la France, quatre fois et demie plus que la Prusse, trois fois plus que la Belgique et autant que les États-Unis, se trouve maintenant extrêmement arriérée sous ce rapport. La cause principale de cet état de choses, c'est que la Russie n'a pu, jusqu'à ces derniers temps, produire sa fonte qu'au combustible végétal, alors que, dans les autres pays, la consommation des houilles devenait d'année en année plus considérable et celle du charbon de bois disparaissait presque entièrement ; cette situation a permis à ces divers pays de faire de rapides progrès.

Les progrès importants de la production de la fonte en Russie dans les cinq dernières années sont dus assurément au fait que la fabrication de la fonte au combustible minéral a été largement établie ; on peut affirmer

que cette industrie se développera sur une grande échelle dans le Sud de la Russie, qui sera sous peu le centre principal de la production de la fonte ; la marche des choses est ici tout a fait analogue à celle qui a eu lieu dans les régions de l'Europe occidentale et de l'Amérique, où les gisements de minerais de fer se sont trouvés dans le voisinage de gisements d'un combustible minéral, utilisable pour les procédés métallurgiques.

La production du fer et de l'acier, dans les quarante-cinq dernières années, est, au total, devenue six fois plus considérable.

La fabrication du fer et de l'acier ne paye aucun impôt; celle de la fonte est seule, en Russie, soumise à une redevance minière de 0r,23 par 100 kilogrammes pour les usines privées et de 0r,34 pour les usines *de possession*. En somme, cet impôt donne à l'État de 1.500.000 à 1.750.000 francs par an.

Avant de parler de la production des divers districts, disons quelques mots sur l'histoire de la création des premières usines dans les principaux centres de cette industrie.

Dans l'Oural, les premières tentatives en vue du développement de l'industrie minière et métallurgique datent du commencement du XVIIe siècle ; les premières usines furent construites par le gouvernement. La découverte, en 1631, d'un gisement de minerai de fer non loin de la rivière Nitza provoqua la construction de la première usine du pays, l'usine de Nitza. Dans cette usine, on fabriqua le fer par la méthode générale de l'époque, c'est-à-dire dans des fours à loupes, en partant directement du minerai. Le véritable fondateur de cette industrie est Pierre le Grand, par les ordres duquel furent construites, en 1701, les usines de Newiansk, pour la fabrication de la fonte et du fer, et celle de Kamensk, spécialement pour la production de la fonte ; ces deux usines

fabriquaient les canons et les projectiles. Depuis, de nombreuses usines de l'État ont été établies sur divers points de l'Oural.

Mais tous les soins et toute l'énergie de Pierre le Grand et de ses successeurs furent consacrés à encourager l'industrie privée et, grâce à leurs efforts, ont été créées, en quelques dizaines d'années, presque toutes les usines qui existent actuellement dans les monts Ourals. L'aide le plus actif de Pierre le Grand, dans la sphère de l'industrie minérale, fut un allemand, William de Guennine, qui, nommé chef de toutes les usines de l'Oural et de la Sibérie, occupa ces fonctions de 1722 à 1734, et construisit un assez grand nombre d'usines. Son prédécesseur, qui fut aussi son successeur, M. Tatichteff, travailla aussi avec énergie pour le bien de l'industrie minérale dans l'Oural.

Il est impossible de parler de l'industrie privée dans l'Oural, sans citer Nikita Demidoff, ancien forgeron de Toula, auquel Pierre le Grand, qui le connaissait personnellement, remit l'usine de Newiansk à condition que Demidoff lui fabriquerait des canons, des mortiers, des armes blanches, ainsi que du fer en barres et du fil de fer. Grâce à son caractère entreprenant, Nikita Demidoff construisit quatre usines dans l'Oural ; lui et ses descendants n'en établirent pas moins de trente.

A la fin du XVIe et au commencement du XVIIe siècle, le fer suédois, dont on avait besoin en Russie, était importé par des marchands hollandais par le port d'Arkhangelsk. Les hauts prix de cette marchandise donnèrent l'idée à Winious, marchand hollandais vivant en Russie, d'entreprendre la construction d'une usine près de Toula pour la production et le façonnage du fer par les procédés étrangers. En 1632, il reçut la permission de réaliser ses plans. Winious bâtit quatre usines sur le cours de la rivière Toulitza. Peu après, Winious et ses

compagnons bâtirent encore plusieurs usines dans les gouvernements du Centre de la Russie. C'est là, à Toula, que Pierre le Grand fit la connaissance de ce forgeron, Nikita Demidoff Antoufieff, qui fut le fondateur de la maison des Demidoff et qui, grâce à son intelligence, à son habileté dans la fabrication de produits en fer et à son caractère entreprenant, plut au Tzar et put ainsi rendre de grands services à l'industrie minérale de la Russie centrale, de l'Oural et de la Sibérie.

Les premières recherches de minerais de fer dans le pays d'Olonetz avaient eu lieu en 1670 ; les gisements qui y avaient été découverts passèrent peu après entre les mains d'un Danois, Boutenant von Rosenbouche, sous condition de fournir au gouvernement un certain nombre de canons et de projectiles qui seraient fabriqués dans l'usine de Petrovsk, bâtie en 1678. Après un certain temps, ces établissements repassèrent de nouveau entre les mains du gouvernement, qui chargea William de Guennine de leur réorganisation. C'est lui qui fit venir de l'étranger plusieurs contremaîtres et qui, avec leur aide, installa la fabrication de l'acier, de la tôle, des ancres, du fil de fer, des clous, etc. ; enfin qui mit ces usines en état de fournir à la marine tout ce dont elle avait besoin en fait de munitions de guerre.

Poursuivant avec énergie l'idée de créer une industrie sidérurgique alimentée par les combustibles minéraux, le gouvernement fit d'actives démarches en vue d'amener des industriels à établir, dans le Sud de la Russie, des usines privées.

Les produits sidérurgiques, qu'il fallait transporter depuis l'Oural à plus de 2.000 kilomètres de distance, étaient hors de prix dans tout le Sud de la Russie : il en résultait nécessairement de grands inconvénients pour les industries indigènes et surtout pour l'agriculture. En 1799 fut construite l'usine de Lougansk, dans le gouvernement d'Ekaterinoslav, et plus tard, vers l'année 1830, furent bâties quelques autres usines : c'est de cette époque que datent les premiers essais de traitement des minerais du pays au combustible minéral indigène ; malheureusement ces essais n'eurent point de succès. Le même insuccès arrêta d'autres tentatives faites dans ces contrées : ainsi, en 1845, on installait une usine à Kertch pour y fondre le minerai des environs avec l'anthracite du bassin du Donetz ; l'opération ne donna pas de bons résultats et on transporta les essais dans le bassin même du Donetz ; on y bâtit, en 1859, l'usine de Pétrovsk, et plus tard, en 1870, fut achevée la construction de l'usine de Lisitchansk, où l'on reprit les essais qui avaient échoué à l'usine de Pétrovsk ; malheureusement on n'obtint pas à Lisitchansk de meilleurs résultats. Les nombreuses tentatives du gouvernement pour introduire dans le Sud de la Russie la fabrication de la fonte au combustible minéral indigène n'eurent aucun succès. L'honneur de la réussite, sous ce rapport, appartient à l'anglais John Hughes et à un riche capitaliste russe, M. Pastoukhoff. M. Hughes, ancien ingénieur des forges de Milwell, à Londres, passa, en 1869, avec le gouvernement russe un contrat et reçut de l'État de fortes commandes de rails sous condition de construire à ses frais une usine pour la fabrication de la fonte, capable de produire 100 tonnes par semaine, et d'aménager un charbonnage produisant journellement 2.000 tonnes. Le premier haut-fourneau fut mis en marche en avril 1871 ; en 1876, on en construisit un second, et maintenant cette usine possède cinq hauts-fourneaux ; la production annuelle de l'établissement est de 98.000 tonnes de fonte, 16.500 tonnes de fer et 49.000 tonnes d'acier en lingots ou en rails. Presque en même temps que M. Hughes, M. Pastoukhoff commença la construction de son usine dans le pays des cosaques du Don, pour la fabrication de la fonte à l'an-

thracite indigène. Les premières coulées de cette fonte eurent lieu à l' automne de 1872; mais, malheureusement, cette industrie ne reçut pas tout le développement désirable.

La découverte et l'exploration détaillée des riches gisements de fer de Krivoï-Rog a provoqué, au Sud de la Russie, la fondation de plusieurs importantes entreprises métallurgiques et l'installation de grandes usines pour la production de la fonte et la fabrication du fer et de l'acier. Les premiers entrepreneurs sont déjà suivis par d'autres, qui marchent sur leurs brisées, et il y a lieu d'espérer qu'avant peu il existera dans le Sud de la Russie une industrie sidérurgique plus importante que celle de l'Oural, vieille déjà de plus de deux siècles.

Lors du dernier partage de la Pologne, la contrée, qui, depuis le XIII[e] siècle, était le siège d'une industrie du fer assez considérable, fut divisée entre la Russie, l'Autriche et la Prusse. En 1814, sur le territoire de l'ancienne principauté de Varsovie, il n'y avait pas moins de quarante-six hauts-fourneaux. La période de 1833-1837 est caractérisée par l'introduction de l'air chaud dans la production de la fonte, du puddlage dans la fabrication du fer, et enfin par l'emploi de la houille pour le traitement métallurgique. Le développement le plus remarquable de cette industrie a surtout eu lieu depuis 1876-1880, époque où on attira des capitalistes étrangers, français et allemands. C'est alors que furent bâties de nouvelles grandes usines pour la production de la fonte et la fabrication du fer et de l'acier.

La production de la fonte en Russie, pour les dix dernières années, est résumée dans le tableau suivant :

ANNÉES	PRODUCTION DE LA FONTE DANS LES USINES									
			privées							
	de l'État	du Cabinet de Sa Majesté	de l'Oural	du Centre de la Russie	du Sud de la Russie et de la Russie Sud-Ouest	de la Sibérie	de la Pologne	du Nord de la Russie	de la Finlande	Total
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonn.	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1882	53.046	1.459	256.533	54.397	32.838	4.770	38.761	»	20.720	462 524
1883	57.288	1.100	272.291	55.990	32.565	4.993	40.856	»	16 602	481.685
1884	55.354	2.429	292.873	59.983	33.270	5.495	38 606	»	21.499	509.509
1885	59.931	2.244	300.842	59.765	36.736	4.704	40.408	»	22 897	527.327
1886	56.532	3.159	291.678	65.387	50.409	3 708	46.383	»	14 839	532.095
1887	55.624	2.915	333.543	71.647	68.115	3.662	60 893	»	16.038	612.437
1888	62.070	1.684	338.229	75.442	88.987	3.150	78.338	»	19.022	666.922
1889	58.216	2.217	352.788	83.663	138.706	2.903	88.139	»	13.421	740.053
1890	68.151	2.612	393.325	94.246	219.782	4.569	121.604	83	22.083	926.455
1891	68.798	3.032	429.230	101.185	253.183	5.377	122.380	111	21.449	1.004.745

Les chiffres de ce tableau nous montrent que, dans son ensemble, la production de la fonte pendant cette période a plus que doublé. Les usines privées de l'Oural ont augmenté leur production de 60 p. 100, celles du Centre de la Russie de 85 p. 100; au Sud de la Russie la production de fonte s'est accrue de sept fois et demie, et en Pologne de trois fois :

Le tableau ci-dessous donne, pour 1882 et pour 1891, la répartition proportionnelle pour cent de la production de fonte entre les divers groupes d'usines :

ANNÉES	USINES de l'État	USINES PRIVÉES				
		de l'Oural	du Centre de la Russie	du Sud de la Russie	de la Pologne	de la Finlande
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
1881	12,5	55,5	11,8	5,5	9,0	4,4
1891	6,8	42,7	10,0	25,2	12,2	2,1

Pour les dix dernières années la production du fer fini s'est développée comme l'indique le tableau suivant, dans les différentes parties du pays :

ANNÉES	PRODUCTION DU FER DANS LES USINES									
	de l'État	du Cabinet de Sa Majesté impériale	privées							Total
			de l'Oural	du Centre de la Russie	de la Pologne	du Sud de la Russie	du Nord de la Russie	de la Sibérie	de la Finlande	
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonn.	tonnes	tonnes
1882	8 398	365	163.916	44.917	24.872	10.986	24.896	2.552	16.394	297.326
1883	11.877	237	174.572	43.749	32.694	6.930	32 489	2.294	17.964	322.806
1884	15.314	724	184.183	45.344	57.308	10.091	28.134	2.680	18.454	362.229
1885	16.197	1.056	182 538	34.357	68.751	12.478	25.190	2 505	19.210	362.282
1886	14.289	1.266	187.483	27.055	75.116	14.047	31 406	2.338	10.003	363.003
1887	18.393	840	201 240	30.218	62.393	13.017	33.970	1.704	7.590	369.365
1888	16.486	1.167	204.442	36.606	53.049	16.397	26.234	1.879	8.282	364.542
1889	21.007	1.271	224.427	44.111	66.361	24.591	36.169	1.828	8.022	427.786
1890	19.455	1.193	223.656	50.494	67.762	25 859	29.362	2.844	12.248	433.173
1891	24.712	1.529	226.066	51,626	55.732	34.945	35.185	3.135	15.092	448.022

Classée suivant les principaux types marchands, la production dans ces mêmes années a été la suivante :

ANNÉES	FER EN BARRES et fer marchand	FER EN FEUILLES et plaques	TÔLE pour chaudières et navires
	tonnes	tonnes	tonnes
1882	217.999	67.337	11.999
1883	241.003	73.175	8.586
1884	252.580	94.713	14.847
1885	263.641	80.992	17.648
1886	248.958	92.082	18.337
1887	257.273	91.916	20.211
1888	260.599	82.062	21.337
1889	295.461	96.599	22.814
1890	292.574	94.432	23.739
1891	303.759	93.378	24.273

Le fer et l'acier étant, dans ces dernières années, employés concurremment dans l'industrie, et l'acier remplaçant dans maintes circonstances le fer, il est impossible d'étudier séparément la production de ces métaux; aussi devons-nous donner immédiatement le tableau ci-dessous de la production de l'acier, en Russie, pendant la même période :

ANNÉES	PRODUCTION DE L'ACIER DANS LES USINES									
	de l'État	du Cabinet de Sa Majesté Impériale	privées							TOTAL
			de l'Oural	du Centre de la Russie	de la Pologne	du Sud de la Russie	du Nord de la Russie	de la Sibérie	de la Finlande	
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1882	5.304	8	19.427	53.752	54.368	24.043	90.496	10	262	247.670
1883	2.924	8	26.023	49.523	56.263	18.329	68.522	18	272	221.882
1884	4.020	8	34.760	36.595	56.156	21.207	52.799	»	1.418	206.963
1885	3.606	4	31.377	24.975	40.066	32.035	57.230	38	3.563	192.894
1886	4.371	4	33.572	29.131	51.623	46.118	74.059	3	2.910	241.791
1887	5.328	4	32.809	37.115	49.932	40.766	57.492	3	2.048	225.497
1888	4.579	»	34.752	40.053	51.388	39.400	50.823	13	1.284	222.292
1889	7.248	»	35.066	65.766	39.155	60.957	49.570	23	960	258.745
1890	6.090	»	38.402	85 972	55.130	115.373	74.971	20	2.460	378.418
1891	7.691	4	49.064	81.337	66.909	146.960	78.508	27	2.978	433.478

Nous donnons également la répartition, suivant les différents modes de fabrication, des aciers produits pour les trois dernières années :

ANNÉES	ACIERS PRODUITS				
	Cémenté	Puddlé	Bessemer	Martin	Au creuset
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1889	1.767	3.656	79.669	168.689	4.954
1890	1.446	430	118.287	252.842	5.418
1891	1.771	369	132.253	293.276	5.809

Enfin, nous donnons, dans le tableau ci-dessous, les quantités des rails en acier, d'acier en barres et en feuilles produites pendant les dix dernières années :

ANNÉES	RAILS en acier	ACIER en produits marchands	ACIER en feuilles
	tonnes	tonnes	tonnes
1882	153.264	7.092	5.614
1883	128.663	14.169	7.082
1884	98.257	18.081	6.099
1885	95.523	23.024	3.837
1886	114.001	18.721	9.219
1887	86.973	33.331	22.371
1888	63.029	20.004	21.139
1889	88.359	48.290	16.107
1890	166.108	62.795	20.907
1891	172.015	85.821	36.012

La production totale du fer et de l'acier en 1891 dépasse celle de 1882 de 62 p. 100. L'augmentation est très variable, suivant les groupes d'usines, pendant ces dix dernières années : dans les *usines de l'État*, l'augmentation a été de 136 p. 100; dans les *usines privées* : de l'Oural, l'augmentation a été de 59 p. 100; du Centre de la Russie, de 35 p. 100; de la Pologne, de 54 p. 100; dans le *Sud de la Russie*, la production du fer et de l'acier s'est accrue de plus de cinq fois, tandis que, dans les usines du *Nord de la Russie*, la production a plutôt diminué.

La production des diverses qualités de fer et d'acier s'accroît très régulièrement; quant à la production des rails en acier, elle varie selon les demandes pour la construction de nouvelles voies ferrées et la réfection de celles qui sont déjà en exploitation.

La fabrication des rails en Russie a son histoire. A l'origine de la construction des voies ferrées en Russie, le gouvernement fit de grands efforts pour engager les usines privées à entreprendre la fabrication des rails. Quand fut fondée la *Grande Société des chemins de fer russes* (Société française), on fit appel aux propriétaires des usines russes pour exécuter les commandes de rails : quatre maîtres de forges répondirent seuls à cet appel, et deux usines seulement entreprirent effectivement l'exécution des commandes. Elles livrèrent, de 1856 à 1860, 53.235 tonnes de rails, mais refusèrent dès lors de continuer cette fabrication. Certaines usines exécutèrent cependant encore quelques petites commandes; parmi elles était une usine fondée à Saint-Pétersbourg et achetée par M. Poutiloff, dont elle conserve le nom; elle entreprit de relaminer les vieux rails en les transformant en rails à tête d'acier.

Pour donner une idée exacte de l'importance de la production des rails nécessaires à la Russie, nous donnons ci-dessous des renseignements sur le développement du réseau des chemins de fer russes (sans compter la Finlande). Le réseau ouvert à l'exploitation a été le suivant dans les diverses années de 1838 à 1892 :

En 1838	26 kilomètres	En 1875	18.901 kilomètres
1850	499 —	1880	22.643 —
1860	1.589 —	1885	25.878 —
1865	3.816 —	1890	30.489 —
1870	10.764 —	1892	31.103 —

En 1866, fut lancé le projet de la construction au Sud de la Russie d'une grande usine pour la fabrication des rails; mais M. Reutern, ministre des finances à cette époque, estima qu'il ne serait pas sage de suspendre la construction des chemins de fer, si indispensables pour le pays, en attendant le développement de la fabrication indigène des rails, industrie qui n'était alors qu'à ses débuts. Il fut donc décidé d'encourager les entreprises privées pour la fondation d'usines pour rails, mais de ne pas arrêter la construction du réseau des voies ferrées. Comme on le voit par le tableau ci-dessus, la période de 1870 à 1880 fut la plus active sous ce rapport. Elle correspond justement à l'importation de l'étranger de 1.474.200 tonnes de rails en fer et en acier, pour la somme de plus de 375 millions de francs.

C'est aussi dans ce laps de temps que John Hughes jeta, en 1873, les premiers fondements de l'industrie pour la fabrication des rails au Sud de la Russie; en 1874, commencèrent les travaux dans l'usine de Briansk, gouvernement d'Orel, construite par MM. Goubonine et Goloubeff. Enfin, en 1875, dans l'usine de Nijni-Saldinsk, appartenant à Demidoff, prince San-Donato, dans les monts Ourals, on inaugura la première fabrication spéciale de rails en acier en Russie.

En 1875, la fabrication des rails subit une révolution : le rail en acier fut proclamé comme seul rationnel et admissible.

Pour parer à l'importation toujours croissante des rails, le gouvernement se vit obligé de prendre, en 1876, toute une série de mesures dans le but de contribuer au développement de la fabrication des rails dans les usines du pays. Ces mesures étaient : 1) l'établissement d'une prime à la production des rails faits avec matières premières indigènes, comme aussi à la transformation des vieux rails en rails neufs; 2) la commande par le gouvernement aux usines privées de 245.700 tonnes de rails, et 3) la suppression de l'importation, en franchise de droits, des rails étrangers.

Ces mesures eurent pour résultat immédiat la transformation de leur mode de fabrication par les trois usines déjà en marche, et la création dans divers contrées de la Russie de quatre nouvelles usines pour la même fabrication; de sorte qu'actuellement le pays dispose de huit usines, en comptant l'usine de Demidoff, dans l'Oural, installée déjà antérieurement pour la fabrication de rails en acier.

Le nombre des ouvriers employés dans l'industrie sidérurgique, c'est-à-dire dans les mines de fer et dans les usines pour la production de la fonte et la fabrication du fer et de l'acier, a varié dans les cinq dernières années comme l'indique le tableau suivant :

RÉGIONS INDUSTRIELLES	1887	1888	1889	1890	1891
Oural	174.018	177.188	158.486	165.057	144.354
Centre de la Russie	20.183	19.934	21.858	25.754	29.911
Pologne	10.341	12.234	12.460	14.376	14.840
Sud de la Russie	6.603	9.260	10.294	15.698	17.923
Nord de la Russie	9.254	7.028	8.481	10.632	12.259
Sibérie	1.814	1.933	2.422	1.930	1.461
Finlande	2.524	3.162	2.636	3.177	3.420
Totaux	224.737	230.759	216.637	233.644	221.168

En comparant les chiffres de ce tableau avec ceux de la production dans les divers districts miniers, nous

voyons que, dans les districts où l'industrie marche exclusivement au combustible végétal, le nombre des ouvriers est proportionnellement très grand; ceci provient de ce que l'approvisionnement des usines en combustible joue un rôle des plus importants : l'abatage du bois, la carbonisation et enfin le transport de ces combustibles aux usines réclament un nombre considérable d'ouvriers.

Passons maintenant au commerce intérieur des produits de l'industrie sidérurgique. Parmi les usines de l'Oural qui, jusqu'à présent, sont les producteurs les plus importants, celles qui sont dans la partie méridionale de la chaîne sont seules reliées au réseau général des chemins de fer de l'Empire; par contre, ces usines profitent d'un vaste réseau de voies navigables constitué par les rivières : Tchousovaïa, Bielaïa, Viatka et Kama, affluents du Volga. Ce fleuve, dont le cours dépasse 2.000 kilomètres de longueur, ouvre à ces usines un marché immense : tout le cours du Volga, les contrées des bords de la mer Caspienne et la Perse et de plus, grâce au réseau de canaux, des parties de pays vers la mer Blanche, la Baltique et la mer d'Azov sont aussi reliées avec ce centre métallurgique. Malheureusement, ces voies de communication ne peuvent être utilisées, à cause des froids, que pendant six ou sept mois de l'année, de sorte que les usines sont forcément isolées de leurs marchés pendant de longues périodes et doivent garder en stock des masses considérables de marchandises pendant toute la saison froide de l'année. La position des autres centres de l'industrie sidérurgique : la Pologne, la zone moyenne et le Sud de la Russie se trouvent dans de meilleures conditions, puisqu'elles sont en communication immédiate avec le réseau général des chemins de fer de l'Empire et à proximité des marchés consommateurs. Pour l'Oural, les principaux marchés sont la foire

de Nijni-Novgorod et les pays traversés par le Volga; à la foire de Nijni-Novgorod arrivent annuellement de 115.000 à 131.000 tonnes de fer de différentes qualités; Saint-Pétersbourg, Varsovie, Moscou, Odessa, Riga et Rostov-sur-le-Don sont aussi des marchés considérables pour le fer et la fonte. Ces villes recourent chacune à celui des districts métallurgiques qui est le plus proche et avec lequel les transports sont les plus faciles et les plus réguliers.

Le commerce extérieur de la fonte, du fer et de l'acier, ainsi que la politique douanière concernant ces produits, jouent un rôle des plus sérieux dans la vie économique de l'Empire russe.

Dans le milieu du XVIII[e] siècle, le fer russe devint un des plus importants articles d'exportation; en 1782, on en exporta 62.900 tonnes pour une somme de 12.500.000 fr. A la fin du XVIII[e] siècle, l'Angleterre seule introduisait annuellement sur ses marchés près de 33.000 tonnes de fer russe. Mais déjà au commencement de ce siècle, l'exportation des fers russes commença à tomber par suite du développement de la production dans les pays étrangers et surtout en Angleterre. Jusqu'à l'année 1862 inclusivement, la Russie pouvait, par ses produits indigènes, satisfaire à ses propres besoins en fonte, fer et acier; mais, depuis 1863, la consommation toujours croissante du fer, provoquée surtout par la construction intensive des voies ferrées, devint telle que l'importation des métaux en Russie s'accrut rapidement, faute d'un développement suffisant de l'industrie indigène.

Jusqu'à l'année 1857, le gouvernement avait prohibé complètement l'importation de la fonte et de ses produits; en 1857, cette interdiction fut levée pour toute la frontière à l'exception des ports de la mer d'Azov, et on fixa un droit d'entrée de 15 copeks par poud (2[f],29 par 100[kg]) de fonte et de 50 à 90 copeks par poud (7[f],63 à 13[f],73

par 100[kg]) de fer, suivant la qualité. Mais, déjà en 1859, ces tarifs furent abaissés à 5 copeks par poud (0[f],76 par 100[kg]) pour la fonte, 55 copeks par poud (8[f],39 par 100[kg]) pour le fer en barres, les rails et débris, 45 copeks par poud (6[f],87 par 100[kg]) pour le fer marchand et 70 copeks par poud (10[f],69 par 100[kg]) pour la tôle, les feuilles et blindages. Le droit d'entrée pour l'acier était alors de 75 copeks par poud (11[f],45 par 100[kg]).

En 1868, tout en conservant l'ancien droit d'entrée de 5 copeks par poud (0[f],76 par 100[kg]) pour la fonte, on adopta les tarifs suivants pour le fer et l'acier importés : pour le fer en barres, le fer marchand et en débris, 36 copeks par poud (5[f],49 par 100[kg]); pour le fer en tôle, feuilles et blindages, 50 copeks par poud (7[f],63 par 100[kg]); pour les rails en fer, 20 copeks par poud (3[f],05 par 100[kg]), et pour l'acier, 80 copeks par poud (12[f],20 par 100[kg]). En même temps, on supprima la défense de l'importation du fer et de la fonte pour les ports de la mer d'Azov.

L'abaissement des droits d'entrée du fer coïncidait justement avec la période de la construction la plus intensive des chemins de fer, il en résulta un accroissement énorme de l'importation de ce métal; en 1870, la quantité importée était de plus de 300 000 tonnes, c'est-à-dire qu'elle dépassait de plus de 42.000 tonnes la production indigène. Le remplacement général des rails en fer par les rails en acier engagea le gouvernement à abaisser à 45 copeks par poud (6[f],87 par 100[kg]) les droits d'entrée pour les rails d'acier.

En vue d'encourager l'industrie indigène, les tarifs des douanes pour la fonte, le fer et l'acier ont été progressivement augmentés depuis 1884. C'est ainsi que les droits d'entrée pour la fonte ont été, du 1[er] juin 1884 au 1[er] mars 1885, 9 copeks; puis jusqu'au 1[er] mars 1886, 12 copeks et enfin à partir du 1[er] mars 1886, 15 copeks

or, par poud de fonte importée tant par mer que par terre (2r,20 ; 2r,93 ; 3r,60 par 100kg). En 1887, on augmenta encore ces droits d'entrée : pour la fonte importée par mer, jusqu'à 25 copeks ; importée par terre, 30 copeks par poud (6r,11 et 7r,33 par 100kg). Les droits d'entrée pour le fer et l'acier furent élevés en 1881, 1882, 1885 et 1887, et à cette dernière date, ils avaient été fixés : *a*) pour le fer en barres, le fer marchand, en loupes et massiaux puddlés, en débris et milbars, ainsi que pour l'acier en bandes et en barres marchandes, en massiaux et en débris, 50 copeks or par poud (12r,21 par 100kg) ; *b*) pour les rails en fer et acier, 50 copeks or par poud (12r,21 par 100kg) ; *c*) pour le fer et l'acier en feuilles et en plaques d'une largeur de plus de 18 pouces (457mm) et pour les produits d'une largeur ou d'une hauteur de plus de 18 pouces (457mm), ainsi que d'une épaisseur ou d'un diamètre de 7 pouces (178mm) et plus, et enfin, pour le fer marchand de petites dimensions, d'une largeur ou d'une hauteur de 1/4 à 1/2 pouce inclusivement (6mm,5 à 12mm,5), 70 copeks or par poud (17r,09 par 100kg) ; *d*) le fer d'une largeur ou d'un diamètre de 1/4 pouce (6mm,5) et au-dessous est envisagé comme fil de fer et paye une entrée de 1 rouble 10 copeks or par poud (26r,86 par 100kg).

Les tableaux suivants nous donnent les quantités de fonte, fer et acier importées en Russie dans les cinq dernières annnées.

ANNÉES	FONTE IMPORTÉE en saumons et débris
	tonnes
1887	129.035
1888	75.199
1889	116.837
1890	126.332
1891	76.583

ANNÉES	FER EN BARRES fer marchand et débris	FER EN FEUILLES fer en plaques tôle pour chaudières	RAILS EN FER	TOTAL
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1887	36.137	19.078	105	55.320
1888	42.861	22.879	192	65.932
1889	55.249	30.803	489	86.541
1890	62.663	32.895	764	96.322
1891	40.734	20.422	445	61.601

ANNÉES	ACIER EN BARRES, en profilés marchands et débris	ACIER EN PLAQUES tôle d'acier	RAILS en acier	TOTAL
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1887	5.066	2.300	288	7.653
1888	7.513	1.970	216	9.698
1889	12.154	2.679	1.198	16.031
1890	12.572	2.516	1.694	16.782
1891	7.925	3.703	2.914	14.542

En 1877, l'importation de la fonte, en Russie, ne dépassait pas encore 50.000 tonnes, mais à partir de 1878 cette importation commença à monter rapidement, en partie par suite de la fondation de grandes usines pour la transformation des vieux rails de fer en rails en acier, et en partie par suite de l'installation près des frontières de grands établissements montés spécialement pour l'affinage à l'état de fer de la fonte étrangère ; ces établissements profitèrent largement de la différence des droits d'entrée, sur la fonte d'une part et sur le fer d'autre part.

Grâce à l'augmentation des droits d'entrée sur le fer, augmentation qui provoqua entre autres la création des usines mentionnées ci-dessus ; grâce aussi au développement de la production indigène de l'acier, l'importation des fer et acier, qui montait entre les années 1874 à 1878 à près de 300.000 tonnes par an, a commencé à décroître considérablement.

En dehors des qualités données dans les tableaux précédents, on importe en Russie de grandes quantités

de fer-blanc; le poids introduit a été, en 1889, de 17.624 tonnes, en 1890 de 24.400 tonnes et en 1891 de 27.300 tonnes; mais cette masse est presque toute importée en franchise de droits d'entrée à Batoum pour les besoins des fabriques installées dans cette ville dans le but de fournir les récipients nécessaires à l'emmagasinage des produits du pétrole exportés à l'étranger.

L'importation du fil de fer en Russie est restée assez constante pendant les cinq dernières années, de 1887 à 1891, et n'a varié qu'entre 393 et 541 tonnes.

L'exportation de la fonte et de l'acier est presque nulle. Cependant certaines qualités de fer, comme par exemple la fameuse tôle fine russe et quelques autres produits, ont encore un certain écoulement sur les marchés étrangers. Voici les chiffres de cette exportation :

ANNÉES	TÔLE	FERRAILLES et débris	FER d'autres qualités	TOTAL
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1887	1.546	2.352	2.013	5.941
1888	780	998	1.715	3.492
1889	993	2.062	2.087	5.142
1890	1.387	1.744	1.867	5.001
1891	776	1.649	2.360	4.784

Nous remarquons que la tôle russe passe presque exclusivement dans les pays de l'Europe, surtout en Angleterre et en Allemagne, tandis que le fer marchand et les ferrailles sont demandés principalement par les marchés de la Perse.

Les trois tableaux suivants nous montrent le rôle que jouent les divers pays dans l'importation de la fonte, du fer et de l'acier en Russie :

PAYS	FONTE EN SAUMONS ET VIEILLE FONTE		
	1889	1890	1891
	tonnes	tonnes	tonnes
Angleterre	76.393	85.386	57.115
Allemagne	27.417	21.728	11.881
Hollande	3 821	3.605	390
Belgique	3.396	1.833	305
Suède	1.417	1.813	756
Autriche-Hongrie	—	1.610	—
Etats-Unis	—	1.373	—
Norvège	—	103	—
France	—	25	272

PAYS	FER EN BARRES, fer marchand et ferrailles			FER EN FEUILLES, tôles pour chaudières, fer en plaques			RAILS EN FER		
	1889	1890	1891	1889	1890	1891	1889	1890	1891
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allemagne	21.949	24.598	22.297	10 436	13.371	8.040	154	464	368
Belgique	16.262	12.121	5.789	9.124	5.536	5.419	324	87	31
Angleterre	6.532	5.966	2.814	9.374	11.652	5.953	—	170	42
Suède	2.541	4.848	961	203	185	85	—	—	—
Autriche-Hongrie	1.473	3 579	351	201	850	31	—	20	—
Hollande	1.366	3.310	434	1.237	1.066	207	11	—	—
Danemark	162	90	85	—	23	65	—	—	—
France	—	13	13	64	98	120	—	—	—
Etats-Unis	47	—	—	—	—	—	—	—	—

PAYS	ACIER EN BARRES, acier profilé marchand et vieil acier			ACIER EN PLAQUES, tôle d'acier			RAILS D'ACIER		
	1889	1890	1891	1889	1890	1891	1889	1890	1891
	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.
Allemagne	6.632	4.848	2.924	1.002	812	347	205	318	453
Belgique	838	3.833	478	251	238	225	729	1.068	1.189
Angleterre	3.204	2.434	3.322	1.284	1.114	3.023	16	59	914
Suède	219	626	405	38	—	8	—	—	—
Hollande	685	483	228	41	262	11	—	—	131
Autriche-Hongrie	261	252	359	56	75	85	—	5	—
Turquie	30	25	—	—	—	—	—	—	—
Italie	—	23	—	—	—	—	—	—	—
Danemark	16	11	—	—	—	—	—	—	—
France	152	11	41	—	—	—	—	—	—

Le tarif des douanes de l'année 1891 précise les droits d'entrée comme suit :

Art. 139. — Fonte en saumons, en débris et limailles :

1) De toute espèce, hormis celle spécialement dénommée :

a) Importée par mer. 30 cop. par poud = 7^{r},32 par 100^{kg}

b) Importée par la frontière de terre occidentale. 35 cop. par poud = 8^{r},52 par 100^{kg}

2) Le ferro-manganèse, la fonte chromée et le ferro-silicium. 50 cop. par poud = 12^{r},21 par 100^{kg}

Observation. — Les droits d'entrée fixés par le présent article ne seront point diminués jusqu'au 1er janvier 1898.

Art. 140. — Fer :

1) Fer en barres, fer façonné, de toute sorte, hormis celui dénommé ci-dessous, fer en gueuses et en massiaux puddlés, en débris, milbars et limailles de fer. 60 cop. par poud = 14^{r},64 par 100^{k}

2) Rails en fer, même perforés et avec rainures. 60 cop. par poud = 14^{r},64 par 100^{kg}

3) Fer en feuilles, de toute sorte, jusqu'au n° 25 inclusivement, d'après le calibre de Birmingham; en plaques, d'une largeur de plus de 18 pouces (457^{mm}); fer façonné, de toute espèce, d'une largeur ou d'une hauteur de plus de 18 pouces, ainsi que d'une épaisseur ou d'un diamètre de 7 pouces (178^{mm}) et au-dessus; fer façonné (fer à T, à double T, à barrots, à Z et autres fers profilés; hormis les cornières soumises au paragraphe 1 du présent article, fer marchand de petites dimensions, d'une largeur ou d'un diamètre de plus de 1/4 à 1/2 pouce (6^{mm},5 à 12^{mm},7) inclusivement. 85 cop. par poud = 19^{r},52 par 100^{kg}

4) Fer en feuilles, au-dessus du n° 25, d'après le calibre de Birmingham. 1 rouble par poud = 24^{r},42 par 100^{kg}

Observation.— Le fer, d'une largeur ou d'un diamètre de 1/4 de pouce (6^{mm},5) et au-dessous, acquitte les droits d'après l'article 155, paragraphe 1.

Art. 141. — Fer-blanc (fer en feuilles étamé), même verni, avec ornements imprimés ou moirés; tôle de fer peinte, vernie, galvanisée, cuivrée, nickelée ou couverte d'autres métaux communs. 1 rouble 70 cop. par poud = 41^{r},51 par 100^{kg}

Art. 142. — Acier :

1) En barres et façonné, de toute espèce, hormis celui ci-dessous dénommé; acier en massiaux et en débris. 60 cop. par poud = 14^{r},64 par 100^{kg}

2) Rails en acier, même perforés et avec rainures. 60 cop. par poud = 14^{r},64 par 100^{kg}

3) En feuilles, de toute espèce, jusqu'au n° 25 inclusivement, d'après le calibre de Birmingham; en plaques, d'une largeur de plus de 18 pouces (457^{mm}); acier façonné, de toute espèce, d'une largeur ou d'une hauteur de plus de 18 pouces (457^{mm}), ainsi que d'une épaisseur ou d'un diamètre de 7 pouces (178^{mm}) et au-dessus; acier façonné (à T, à double T, à barrots, à Z et autres profilés, hormis les cornières d'acier sujettes au paragraphe 1er du présent article); acier marchand de petites dimensions, d'une largeur ou d'un diamètre de plus de 1/4 à 1/2 pouce (6^{mm},5 à 12^{mm},7) inclusivement. 85 cop. par poud = 19^{r},52 par 100^{kg}

4) En feuilles, au-dessus du n° 25, d'après le calibre de Birmingham. 1 rouble par poud = 24^{r},42 par 100^{kg}

Observation.— L'acier, d'une largeur et d'un diamètre de 1/4 de pouce (6^{mm},5) et au-dessous, acquitte les droits d'après l'article 155, paragraphe 1er.

Art. 155. — Fil de fer :

1) En fer ou en acier,

a) D'une épaisseur ou d'un diamètre à partir de 1/4 de pouce (6^{mm},5) jusqu'au n° 25 inclusivement, d'après le calibre de Birmingham. 1 rouble par poud = 24^{r},42 par 100^{kg}

b) Au-dessus du n° 25 jusqu'au n° 29 inclusivement. 1 rouble 50 cop. par poud = 36^{r},63 par 100^{kg}

c) Plus fin que le n° 29, 2 roubles par poud = 48^{r},84 par 100^{kg}

Observation. — Tout fil de fer étamé, recouvert de zinc ou d'autres métaux non précieux, acquitte les droits d'entrée d'après les paragraphes correspondants du présent article avec une majoration de 50 p. 100.

(*La fin à la prochaine livraison.*)

BULLETIN

GITES DE CHARBON DU TENASSERIM.

D'après les études faites par M. P.-N. Bose, du Service géologique de l'Inde anglaise (*), les explorations entreprises au Tenasserim, dans le district de Mergui, pour la recherche des gisements de charbon, ont donné les résultats suivants :

On trouve dans ce district des gisements de charbon appartenant à deux époques distinctes : les uns remontent à l'époque carbonifère, les autres, suivant toute probabilité, à l'époque tertiaire.

Le charbon de l'époque carbonifère se rattache au groupe de Moulmein. C'est le plus répandu, mais il n'a, du moins dans la région du Tenasserim, aucune valeur au point de vue économique. Des fouilles et des sondages nombreux ont montré qu'il se présente sous forme de poches lenticulaires d'une épaisseur de 2 à 3 pouces au plus. Il est mêlé d'une grande quantité de rognons de quartz blanc, et contient une forte proportion de cendres. Dans quelques endroits, il mérite à peine le nom de charbon, tant l'élément schisteux y prédomine.

Le charbon de l'époque tertiaire se trouve en deux localités : Chamitwe ou Tendau et Kamapying, situées l'une et l'autre sur la rive droite, c'est-à-dire à l'ouest du Tenasserim. On n'a pas trouvé de gisements sur la rive gauche, et il ne paraît pas qu'il y ait chance d'en découvrir aucun. A Chamitwe, la mine a déjà été soumise en 1843 à une exploitation qui a duré environ un an. Le charbon y forme une couche de 7 à 8 pieds, divisée par trois lits d'argile schisteuse d'une épaisseur totale d'environ 6 pouces. Mais à Kamapying les sondages ont révélé, à une profondeur de 5 à 6 pieds, un banc de charbon qui a, sur quelques points, une épaisseur de 28 pieds et demi ; son étendue en longueur n'a guère que trois quarts de mille, et son épaisseur moyenne peut être évaluée à 15 pieds.

(*) *Records Geol. Surv. of India*, XXVI, p. 148.

Les données recueillies permettent d'estimer à 600.000 tonnes environ la quantité de charbon que pourrait fournir le gisement de Kamapying, tandis que celui de Chamitwe donnerait au moins 380.000 tonnes.

Pour la production de la vapeur, ce charbon est très supérieur à la moyenne des charbons de l'Inde.

Voici les résultats de l'analyse de deux échantillons pris, le premier sur les bords du Heinlat, petit cours d'eau qui se jette dans le Tenasserim, le second dans le voisinage du Htiphanko, autre ruisseau de la même région de Kamapying :

	1.	2.
Carbone fixe	44,24	43,27
Matières volatiles	35,08	36,40
Eau	16,40	11,34
Cendres	4,28	8,99

Cendres d'un rouge brun ; léger résidu calcaire.

Le premier échantillon est le meilleur de tout le gisement ; c'est un charbon d'excellente qualité pour le chauffage des machines, et comme il s'agglutine, il peut également être employé pour la fusion des minerais. Le charbon qui provient des bords du Htiphanko ne s'agglutine pas, et il a le grave inconvénient de contenir des pyrites, ce qui l'expose au danger des combustions spontanées. Ce même inconvénient est d'ailleurs partagé, mais d'une manière encore plus prononcée, par les charbons de Chamitwe ou Tendau, et c'est la cause qui en a fait suspendre l'exploitation, commencée comme il a été dit ci-dessus.

Le charbon de Kamapying s'obtient en blocs de belle dimension ; on en a essayé quelques tonnes sur une chaloupe à vapeur, et le mécanicien l'a jugé préférable à tous ceux qu'il avait employés jusqu'alors.

Les couches sont fortement inclinées. Cette circonstance, jointe à la difficulté de trouver la main-d'œuvre sur place, rendrait l'exploitation relativement coûteuse. En se plaçant au point de vue des conditions commerciales, on peut estimer que les frais d'exploitation reviendraient à 5 roupies (8 fr. la tonne.) Les frais de transport jusqu'à Mergui s'élèveraient de leur côté à 2 roupies (3f,20) par tonne, si l'on y employait des barques à fond plat, construites exprès, et remorquées, à partir de Therabwin ou Baulaw, par des chaloupes ayant une roue à l'arrière. On pourrait aussi construire un chemin de fer, allant de Kamapying, c'est-à-dire de la localité qui produit le meilleur charbon, jusqu'au port

de Kyukphya, qui est accessible aux grands navires, la distance n'étant que de 28 milles.

Il convient de signaler, comme circonstances favorables à l'exploitation de ces gîtes de charbon, l'existence, d'une part de minerai de fer (latérite) sur une étendue considérable de l'île de Kolagyun, à 6 milles ouest de Mergui, et, d'autre part, d'excellente pierre à chaux à Therabwin.

(*Extrait d'un* Rapport *adressé à* M. le Ministre des affaires étrangères *par* M. le Consul de France à Rangoon.)

PRODUCTION DES MINES ET DES USINES MÉTALLURGIQUES DE LA SUÈDE, EN 1892.

1° Substances minérales.

	Tonnes.
Combustibles minéraux	382.209
Minerai de fer	1.291.933
— de plomb	19.803
— de cuivre	24.069
— de zinc	54.981
— de manganèse	7.832
— d'or	3,463
— de cobalt	53
Pyrites de fer	1 249
Soufre	46
Graphite	15

2° Métaux.

Fonte			485.664
Fers bruts	au bois	233.707	235.426
	puddlés	1.719	
Aciers	Bessemer	82.422	159.595
	Martin	76.556	
	au creuset	617	
Cuivre			745
Plomb			801
Cobalt			7
			Kilog.
Or			88
Argent			5.211

(*Extrait de la* Sveriges officiela Statistik.)

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE

ROYAUME DE SIAM.

Règlement sur la recherche et l'exploitation des mines (*).

On peut rechercher des mines dans toute l'étendue d'une province moyennant un permis, accordé pour un an, contre payement de 40 ticaux (**) et renouvelable; par le payement de 80 ticaux, on peut s'assurer pendant le même temps le droit exclusif de rechercher dans un périmètre réservé.

Tout explorateur permissionné peut obtenir le droit d'exploiter, pendant 25 ans, avec faculté de renouvellement, dans une étendue :

De 30 acres (12 hectares) pour un filon connu situé à une distance de moins de 5 milles d'une autre mine;

De 80 acres (32 hectares) pour un nouveau filon dans la même zone;

De 150 acres (60 hectares) pour un nouveau filon dans un nouveau district;

Lesdites étendues étant respectivement portées à 150 acres (60 hectares), 240 (96 hectares) et 450 acres (180 hectares) pour des carrières, des placers et des mines de fer ou de houille.

Tout exploitant doit payer :

I. A l'octroi de sa permission 50 ticaux (250 francs);

II. Annuellement :

1° Une redevance fixe de 2 ticaux par acre (25 francs par hectare);

2° Une redevance proportionnelle sur le produit brut de 3 p. 100 pour l'or et les pierres précieuses, de 2 1/2 p. 100 pour les combustibles et le fer, de 4 p. 100 pour les autres substances.

L'exploitant peut, sous certaines conditions, renoncer à toute mine qu'il trouve insuffisamment rémunératrice. L. A.

(*) Les *Annales des mines* ont reçu communication de ce règlement par l'obligeant intermédiaire de M. Bel, ingénieur civil des mines, qui en a remis simultanément la traduction.

(**) Le tical argent, d'après M. Bel, a un rapport fixe de 5 sur 3 avec le dollar ou la piastre mexicaine; il vaudrait donc sensiblement en ce moment 5 francs or.

ÉTAT INDÉPENDANT DU CONGO.

Décrets des 8 juin 1888 et 20 mars 1893 sur le régime des mines.

Le décret du 8 juin 1888 s'était borné à poser deux principes :

1° La propriété du sol ne donne aucun droit sur les richesses minérales que le sol peut renfermer;

2° Une mine ne peut être exploitée qu'en vertu d'une concession accordée par le roi souverain.

Le décret du 20 mars 1893 a tout d'abord classé parmi les substances concessibles : les substances minérales utilisables par leur teneur en métaux (*), soufre ou phosphore (**); les combustibles (***), pétroles et bitumes; le sel gemme, les sels métalliques (****) et les sources salées; le diamant et les pierres précieuses (art. 1er).

Le décret reconnaît à l'inventeur, pendant dix ans, un droit de préférence à une concession (art. 4), dont l'étendue ne peut dépasser 10.000 hectares (art. 5) (*****).

Les concessions ne sont octroyées que pour 99 ans; elles font ensuite retour à l'État avec tout leur matériel d'exploitation (art. 8).

Le concessionnaire doit verser, lors de l'institution de la concession, une taxe une fois payée de 2.500 francs et en plus, par hectare, 10 francs pour les métaux précieux (******), le diamant et les pierres précieuses, et 5 francs pour les autres substance (art. 3).

Il doit payer chaque année une redevance de 5 p. 100 du produit net sans que cette redevance puisse être inférieure par hectare à 5 francs pour les mines de métaux précieux, de diamant ou de pierres précieuses, et à 0f,50 pour toutes autres substances, le tout à fin de déchéance (art. 9).

L. A.

(*) L'arsenic est compris explicitement dans les métaux.

(**) La concessiblité du phosphate de chaux est à remarquer.

(***) La tourbe exceptée.

(****) Les sels métalliques comprennent les roches alunifères, la baryte sulfatée, les sulfates de fer et de cuivre.

(*****) Le décret prévoit que certains gîtes de minerais de fer pourront, par décret, être rattachés à la propriété superficiaire.

(******) Les métaux précieux comprennent : l'or, l'argent, le platine, l'iridium et le palladium.

APERÇU GÉNÉRAL SUR L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA RUSSIE

Par M. DE KEPPEN, Membre du Conseil général des mines de Russie.

(Suite et fin.) (*)

ECOLE NATIONALE DES MINES BIBLIOTHÈQUE

Combustibles minéraux.

Quoique les gisements de houille dans la Russie d'Europe ainsi que dans la Russie d'Asie fussent déjà connus au XVIIIe siècle, l'exploitation de ces combustibles n'eut lieu, jusqu'en 1855, qu'en Pologne et dans le Sud de la Russie, et la production ne dépassait pas 165.000 tonnes par an. Depuis cette époque, le gouvernement russe est intervenu activement pour encourager la création d'exploitations régulières non seulement dans les bassins du Donetz et de la Pologne, mais aussi au Centre de la Russie, dans l'Oural, au Caucase et même dans l'île Sakhalin.

Il est impossible de ne pas remarquer que, par une coïncidence des plus heureuses, les principaux bassins houillers de la Russie sont situés de façon à jouer de suite un rôle économique des plus importants (**).

(*) Voir *supra*, p. 180.

(**) Voir la carte des régions de production de la houille, Pl. VIII.

Le bassin du Centre de la Russie, ou bassin de Moscou, est situé justement dans la contrée la plus anciennement manufacturière de l'Empire.

Le bassin du Donetz se trouve dans une contrée complètement dépourvue de forêts, et la houille est ici le seul combustible dont peuvent disposer, et pour longtemps, les habitants ainsi que les chemins de fer qui traversent le pays. La proximité de riches gisements de minerais de fer permet de prévoir un large développement d'une industrie métallurgique basée sur l'emploi du combustible minéral ; le voisinage de la mer rend aussi possible une grande exportation.

La Pologne est une des parties les plus manufacturières de la Russie et ici l'industrie profite déjà depuis longtemps du combustible minéral.

Le bassin de l'Oural est en même temps un pays remarquablement riche en minerais de différentes sortes, connus et appréciés depuis bien des années par les industriels de toute l'Europe.

Le bassin de lignites de Kiev-Elisabetgrad se trouve au centre de grandes sucreries qui, seules, peuvent consommer d'importantes quantités de ce charbon.

Dans la Sibérie occidentale, le bassin houiller de Kouznetzk est situé au voisinage du district minier de l'Altaï, si connu pour la richesse de ses gisements de minerais. Les amas de houille dans les steppes des Kirghiz acquerront une grande importance avec le développement de l'industrie métallurgique dans cette contrée complètement dénuée de forêts, mais richement dotée en gisements de minerais de cuivre, d'argent et de plomb.

Dans la Sibérie orientale, l'île Sakhalin et les gisements houillers nouvellement découverts sur le continent aux bords de la rivière Soutchan assurent la fourniture en combustible indigène de la flotte militaire et privée du Pacifique.

Les grands centres de l'industrie métallurgique et manufacturière de l'Europe occidentale et de l'Amérique ont dû leur immense développement précisément au fait qu'ils possédaient de puissants gisements de combustible minéral.

En Russie, la situation est inverse : le besoin de combustibles existait et s'était accru dans les diverses parties de l'Empire bien avant la mise en exploitation des charbonnages dans les contrées riches en combustible minéral.

La Pologne fait seule exception : l'industrie métallurgique et manufacturière de ce pays a reçu son grand développement grâce justement à l'abondance et au bon marché du combustible minéral.

Le tableau ci-dessous résume la progression du développement de l'exploitation des combustibles minéraux en Russie ; quant à la situation de cette industrie dans les diverses contrées de l'Empire, nous l'exposerons plus loin.

ANNÉES	BASSINS HOUILLERS										TOTAL
	du Donetz	de la Pologne	du Centre de la Russie	de l'Oural	de Kiev-Elisabetgrad	du Caucase	des steppes des Kirghiz	de Kouznetzk	de l'île Sakhalin	du Turkestan	
	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.
1855	73.710	72.957	—	7.207	—	1.638	—	—	—	—	155.512
1860	98.427	176.707	10.336	6.683	—	1.638	3.030	901	2.179	—	299.901
1865	160.999	175.970	22.457	12.547	—	2.375	3.309	4.373	131	—	382 161
1870	256.298	328.894	83.186	6.339	—	3.243	7.830	5.733	2,015	1.229	694.767
1880	842.538	407.928	387.534	20.950	17.903	6.175	13.628	4.193	1.572	6.798	1.709.219
1885	1.414.364	1.284.995	411.433	118.214	8.747	6.339	20.311	7.944	8.223	4.996	3.285.566
1890	1.882.815	1.790.039	349.017	178.133	9.091	3.489	26.798	13.022	9.009	6.839	4.268.252
1891	3.001.619	2.469.981	233.710	249.369	11.351	9.910	2.080	17.224	14.619	4.930	6.014.793
	3.139.368	2.601.647	180.529	245.518	11.096	8.020	2.277	18.812	17.663	8.090	6.233.020

Les chiffres du tableau précédent montrent l'état de l'exploitation des combustibles minéraux dans les différents bassins durant le cours de la période mentionnée de 35 ans.

Malgré l'accroissement rapide de la production du charbon en Russie, les exploitations indigènes ne peuvent suffire aux demandes toujours croissantes de l'industrie, et il en résulte d'importantes importations de ce combustible. La quantité totale de charbon, consommé annuellement en Russie, a atteint dans ces dernières années 7.534.800 tonnes, ce qui fait, pour une population de 117 millions d'habitants, près de 64^{kg},380 par tête.

Des données exactes relatives à la consommation de la houille n'existent que pour les chemins de fer ; le tableau ci-dessous donne l'accroissement graduel des quantités consommées :

ANNÉES	HOUILLE CONSOMMÉE		
	de provenance russe	de provenance étrangère	Total
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1875	—	—	498.358
1880	895.843	286.868	1.182.711
1885	1.092.890	144.370	1.237.260
1890	1.122.664	113.004	1.235.668
1891	1.285.565	102.521	1.388.086

Il est intéressant d'étudier les changements qui se sont produits dans la participation des divers bassins houillers de la Russie aux fournitures pour les chemins de fer dans les dix dernières années ; en voici le tableau :

	1880	1885	1890
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Anthracite du bassin du Donetz. . . .	178.195	116.291	83.884
Houille :			
Du bassin du Donetz.	364.284	562.371	651.311
— du Centre de la Russie. . .	168.008	140.901	88.631
— de la Pologne	177.158	225.615	287.577
— de l'Oural.	1.779	47.707	94.778
— du Caucase.	5.956	3	369

Les chiffres de ce tableau nous montrent que la consommation de la houille des bassins du Donetz, de la Pologne et de l'Oural s'accroît rapidement, tandis que la consommation de l'anthracite et des charbons du bassin de Moscou est tombée à moitié.

La consommation du charbon en Russie par les diverses branches de l'industrie peut être résumée comme suit :

Industrie métallurgique et métallique.	1.966.000 tonnes.
Chemins de fer	1.350.000 —
Navigation à vapeur et flotte impériale. . . .	41.000 —
Usines à gaz.	246.000 —
Filatures.	655.000 —
Sucreries.	573.000 —
Autres branches d'industrie.	1.310.000 —
Charbonnages, mines, salines et autres. . . .	246.000 —
Consommation domestique.	900.000 —

Les deux tableaux suivants nous montrent : 1) le nombre des charbonnages et celui des puits en activité, et 2) le nombre des machines à vapeur dans ces charbonnages et celui des chevaux-vapeur en activité par bassin pour la période des cinq dernières années :

BASSINS	1887		1888		1889		1890		1891	
	Mines exploitées	Puits en activité	Mines exploitées	Puits en activité	Mines exploitées	Puits en activité	Mines exploitées	Puits en activité	Mines exploitées	Puits en activité
Donetz.	244	699	263	914	270	777	270	763	257	767
Pologne	27	58	20	56	20	59	20	52	21	63
Centre de la Russie	10	56	12	39	12	36	12	46	11	46
L'Oural	6	17	7	20	8	21	8	19	7	18
Steppes des Kirghiz	5	16	8	13	9	37	8	24	9	16
Kiev-Elisabetgrad	4	5	7	3 puits 7 découvertes.	1	3	1	3	1	3
Ile Sakhalin.	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
Kouznetzk.	2	6	2	6	2	6	2	7	3	9
Caucase	5	16	8	13	8	31	7	20	5	11
Turkestan.	5	2 puits 3 découvertes.	6	8	5	9	6	12	8	14
Totaux	309	881	334	1.082	336	982	335	949	323	950

BASSINS	1887		1888		1889		1890		1891	
	Machines à vapeur	Chevaux-vapeur	Machines à vapeur	Chevaux-vapeur	Machines à vapeur	Chevaux-vapeur	Machines à vapeur	Chevaux-vapeur	Machines à vapeur	Chevaux-vapeur
Donetz	158	3 553	186	4.038	221	5.171	228	5.856	238	6.133
Pologne	149	9.226	155	9.971	167	9.898	167	10.497	176	11.031
Centre de la Russie.	33	470	35	526	36	521	34	594	36	561
L'Oural	5	91	5	91	8	161	9	241	9	241
Steppes des Kirghiz.	1	6	1	6	—	—	3	14	1	6
Kiev-Elisabetgrad.	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10
Ile Sakhalin	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kouznetzk	1	14	1	14	1	14	2	19	1	14
Caucase	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Turkestan	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Totaux	348	13.370	384	14.656	434	15.775	444	17.231	462	17.996

Le tableau ci-dessous donne le nombre des ouvriers employés dans les charbonnages en les distinguant par bassins et par catégories d'employés au fond et au jour :

BASSINS	1889			1890			1891		
	A l'intérieur	A la surface	Ensemble	A l'intérieur	A la surface	Ensemble	A l'intérieur	A la surface	Ensemble
Donetz	20.963	4.704	25 667	—	—	25.167	18.859	4.571	23.430
Pologne	7.244	2.851	10.095	6.077	2.615	8.692	8.440	3.010	11.450
Centre de la Russie.	2.141	988	3.129	1.733	719	2.452	1.353	719	2.072
L'Oural	1.713	1.223	2.936	1.176	1.250	2.426	1.258	713	1.971
Steppes des Kirghiz.	202	—	202	125	22	147	87	76	163
Kiev-Elisabetgrad.	40	13	53	21	7	28	40	12	52
Ile Sakhalin	228	242	470	277	236	513	224	98	322
Kouznetzk	219	219	438	207	403	610	212	220	432
Caucase	102	14	116	206	164	370	150	33	183
Turkestan	108	57	165	86	73	159	99	51	150
Totaux	32.960	10.311	43.271	—	—	40 564	30.722	9.503	40.225

En comparant les chiffres de ces trois tableaux à ceux de la production par bassins, on est de suite frappé de la grande différence entre le bassin de la Pologne et les autres sous le rapport de l'importance des exploitations. Les bassins de la Pologne et du Donetz étant peu différents quant au total de leur production, nous nous bornerons à comparer ces deux bassins pour l'année 1891, dans laquelle celui de la Pologne a produit 2.593.144 et celui du Donetz 3.138.408 tonnes de charbon. Cette dernière quantité provient de 257 charbonnages et de 767 puits, c'est-à-dire que, dans le bassin du Donetz, la production de chaque charbonnage n'a été en moyenne, en 1891, que de 12.203 tonnes et celle de chaque puits de 3.931 tonnes.

En Pologne, il n'existe par contre que 21 charbonnages avec 63 puits, ce qui fait une production de 123.866 tonnes par charbonnage et de 41.278 tonnes par puits. La répartition des machines à vapeur présente aussi les mêmes écarts : dans le bassin du Donetz les 767 puits ne disposaient que de 238 machines, ce qui correspond à moins d'une machine pour trois puits, tandis qu'en Pologne il y avait 176 machines pour 63 puits, c'est-à-dire presque trois machines par puits.

Enfin, passant aux ouvriers, nous voyons que, dans le bassin de la Pologne, l'effet utile de chaque ouvrier est de beaucoup plus élevé que dans le bassin du Donetz ; ce résultat provient en partie du nombre de machines à vapeur, et de l'expérience professionnelle d'une population stable de mineurs, qui n'existe pas encore dans le Sud de la Russie ; et en partie aussi de la puissance des couches exploitées. Les couches dépassent rarement 2 mètres dans le bassin du Donetz, tandis qu'en Pologne les neuf dixièmes de la production proviennent d'une couche unique dont la puissance varie de 8 à 16 mètres.

En ce qui concerne le commerce international des combustibles minéraux, il y a lieu de constater que l'exportation est très minime, tandis que l'importation en Russie est considérable, malgré une production indigène qui augmente d'année en année :

ANNÉES	QUANTITÉS TOTALES de houille importée	QUANTITÉS MOYENNES de houille importée annuellement
	tonnes	tonnes
1866-1870	4.021.354	804.291
1871-1875	4.954.534	990.990
1876-1880	7.952.736	1.590.547
1881-1885	9.191 539	1.838.308
1886-1890	8.175.586	1.635.117
1891	1.542.516	1.542.516

Les chiffres de ce tableau, jusqu'en 1885, comprennent à la fois le charbon et le coke ; pour la dernière période quinquennale, les chiffres ne se rapportent qu'au charbon ; quant au coke, il en a été importé au total pendant cette période 808.099 tonnes, ou en moyenne pour chaque année 161.620 tonnes, de sorte que le chiffre moyen du charbon et du coke importés annuellement pendant cette même période monte à 1.796.739 tonnes. En 1891, il a été importé 203.095 tonnes de coke.

Puisqu'en Russie il existe en fait trois centres principaux de consommation du charbon : le Sud de la Russie, la Pologne et les bords de la Baltique, et que les deux premiers s'approvisionnent principalement en combustible indigène, tandis que le dernier est forcément obligé de consommer des charbons étrangers, il est important de connaître la répartition de ces combustibles étrangers dans ces diverses régions ; le tableau suivant nous donne ces chiffres pour les cinq dernières années :

IMPORTÉ PAR	1887	1888	1889	1890	1891
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Houille.					
Ports de la mer Blanche. . . .	1.930	4.490	4.904	4.735	4 557
— Baltique. . . .	1.155.550	1.139.756	1.384.099	1.221.267	1.266.639
Frontière de terre occidentale.	211.196	181.728	174.588	157.540	140.891
Ports des mers Noire et d'Azov.	54.423	247.261	301.656	155.257	122.968
Frontière asiatique.	1.989	8 839	6.748	3.613	7.461
Totaux.	1.425.088	1.582.074	1.872.095	1.542.412	1.542.516
Coke.					
Ports de la mer Blanche. . . .	21	5	196	52	68
— Baltique. . . .	62.405	56.704	88.313	52.459	59.019
Frontière de terre occidentale.	81.430	93.441	106.137	148.336	143.102
Ports de la mer Noire.	—	10.239	2.303	442	313
Frontière asiatique.	372	131	234	59	593
Totaux.	144.228	160.520	197.183	201.348	203.095

L'importation du charbon et du coke par les ports de la Baltique reste, comme nous le voyons, presque stationnaire, tandis que celle qui a lieu par la Russie occidentale est soumise à d'assez régulières oscillations. Avec le développement de la production du charbon en Pologne, l'importation du charbon par la frontière occidentale diminue, l'importation du coke au contraire augmente ; la production de la fonte dans ce pays augmente en effet rapidement, mais ne peut se développer qu'en employant les cokes prussien et autrichien, le charbon de la Pologne ne donnant point de coke.

Pour les cinq dernières années, l'importation du charbon et du coke a été répartie entre les pays suivants :

PAYS IMPORTATEURS	1887	1888	1889	1890	1891
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Houille.					
Angleterre.	1.211.285	1.392.870	1.680.421	1.384.482	1.393.083
Allemagne.	202.847	173.297	173.297	141.904	131.498
Autriche.	4.923	5.367	8.812	11.651	8.761
Coke.					
Angleterre.	53.095	59.465	84.205	50.168	51.557
Allemagne.	70.115	78.457	76.336	99.017	95.091
Autriche.	18.952	21.584	34.362	52.061	53.792

Quant à l'exportation du charbon russe, en voici les chiffres pour les cinq dernières années :

ANNÉES	EXPORTATION de combustibles minéraux russes
	tonnes.
1887	3.145
1888	15.576
1889	14.429
1890	13.672
1891	11.188

Dans ces dix dernières années, le gouvernement, pour protéger la production indigène du charbon, a considéré comme nécessaire d'établir des droits de douane sur le charbon importé et de les augmenter graduellement.

Jusqu'en 1884, tout le charbon, à l'exception de celui qui entrait par les frontières de la Pologne, était importé en franchise de droits; seul le charbon importé en Pologne payait un droit qui, de 0^{r},08 par 100 kilogrammes (1/2 copek par poud) prélevé antérieurement, avait été porté en 1882 à 0^{r},16 par 100 kilogrammes (1 copek par poud). Depuis l'année 1884, le charbon et le coke, importés par toutes les frontières (à l'exception des ports de la mer Blanche), durent acquitter les droits d'entrée suivants : *a*) dans les ports de la mer Noire et de la mer d'Azov, 0^{r},48 par 100 kilogrammes (2 copeks or par poud); *b*) par toute la frontière occidentale, 0^{r},36 par 100 kilogrammes (1 1/2 copek or par poud), et *c*) dans les ports de la Baltique, 0^{r},12 par 100 kilogrammes (1/2 copek or par poud). En 1886, pour le charbon arrivant dans les ports de la mer Noire et de la mer d'Azov, le droit d'entrée a été porté à 0^{r},73 par 100 kilogrammes (3 copeks or par poud) et, en 1887, on compléta les tarifs des douanes en fixant des droits différents

pour le charbon et pour le coke. Ces tarifs furent fixés comme suit par 100 kilogrammes :

	Charbon.	Coke.
Importé par les ports de la mer Noire et la mer d'Azov	0^{r},73	1^{r},10
Importé par la frontière occidentale	0^{r},48	0^{r},73
Importé par les ports de la Baltique	2^{r},24	0^{r},36

Le tarif des douanes, promulgué en 1891, n'a rien changé à ces chiffres; mais, en 1892, les droits d'entrée pour le charbon et le coke, importés par les mers Noire et d'Azov, ont été élevés pour le charbon jusqu'à 4 copeks et pour le coke jusqu'à 6 copeks or par poud (0^{r},96 et 1^{r},45 par 100 kilogrammes).

Le bassin du Donetz occupe la partie Sud du gouvernement de Kharkov, la partie orientale de celui d'Ekaterinoslav et la partie occidentale du pays des Cosaques du Don; il est de forme irrégulière, allongé de l'Ouest à l'Est; son étendue est de 326 kilomètres en longueur et de 150 en largeur. Le bassin du Donetz, au point de vue de la structure géologique, peut être divisé en trois zones, savoir: la zone moyenne, la plus grande, entièrement composée de dépôts du système carbonifère; les zones orientale et occidentale sont recouvertes de dépôts de formations plus récentes, au milieu desquels surgissent, comme des îlots, les couches des dépôts carbonifères.

Le levé topographique du pays, fait de 1864 à 1869, a fixé à 20.000 kilomètres carrés la superficie totale des dépôts du système carbonifère dans le bassin du Donetz.

D'après les indications d'éminents géologues comme MM. Le Play, Helmersen, Guillemain et autres, on peut admettre qu'une superficie égale à la précédente est recouverte par les dépôts des systèmes permien, crétacé et tertiaire, de sorte qu'en somme la superficie du terrain carbonifère du Sud de la Russie peut être évaluée à 40.000 kilomètres carrés. La contrée est faiblement ondulée, mais est coupée par de profonds ravins (*balkas*)

orientés suivant des directions diverses; le niveau moyen de la contrée est de 150 mètres au-dessus de la mer; certains points sont cependant beaucoup plus élevés.

Les premiers renseignements sur la houille du Sud de la Russie remontent au commencement du XVIII[e] siècle, époque de la guerre d'Azov. On montra au Tzar un morceau de houille; Pierre le Grand, qui connaissait l'emploi de ce combustible dans l'Europe occidentale, prononça ces remarquables paroles : « Ce minéral, si ce n'est pour nous, sera très utile pour nos descendants. » Vers la fin du siècle dernier, le gouvernement, très désireux d'employer ce combustible pour le chauffage des navires de la flotte de la mer Noire, fit des efforts pour organiser le transport du charbon du Donetz jusqu'aux ports de mer les plus rapprochés; il créa en même temps l'usine de Lougansk pour satisfaire aux besoins de la flotte en y installant la fabrication de la fonte au combustible minéral. Quoique ces tentatives n'aient pas eu la chance de réussir, cependant les recherches et les explorations faites à cette époque, de 1797 à 1806, amenèrent la découverte de nombreux gisements de houille et de minerais de fer et furent le point de départ d'études systématiques sur la structure géologique de tout le bassin houiller du Donetz.

Le comte Woronzoff, gouverneur général de la partie Sud de la Russie, s'est particulièrement préoccupé d'organiser l'exploitation du charbon indigène, et c'est de son temps que datent les premières études de la structure géologique de la contrée. En 1827, parut la première description géologique du bassin du Donetz par M. Kowalewsky. En 1835, commencèrent les recherches systématiques des gisements houillers, exécutées par des ingénieurs des mines spécialement envoyés par le gouvernement. Bientôt après M. Anatole Demidoff donna

son concours au gouvernement en cette affaire et, en 1837, il organisa, à ses frais, une expédition, ayant à sa tête l'ingénieur des mines français M. F. Le Play, qui fit une étude approfondie du bassin du Donetz. En 1842, parut le célèbre ouvrage de ce savant : *Voyage dans la Russie méridionale*, par Le Play, Paris, 1842, qui le premier divisa les dépôts carbonifères du bassin en sous-formations et étages d'après des considérations et des études rigoureusement scientifiques. N'acceptant pas l'existence de l'étage productif supérieur du système carbonifère, Le Play rapporta les sédiments contenant les couches de houille à l'étage inférieur, c'est-à-dire au calcaire carbonifère; mais n'ayant point trouvé dans ces roches des restes paléontologiques qui pussent lui montrer l'ordre de leur stratification, il rangea tous les gisements alors connus de la houille en huit groupes. Cette lacune fut comblée bientôt après par un autre géologue étranger, M. Murchison, qui divisa les sédiments carbonifères du bassin du Donetz en trois étages, les mêmes qu'il établit pour le calcaire carbonifère du Centre de la Russie, et rangea les gisements de houille dans l'étage moyen.

A mesure que le bassin du Donetz a été plus exploré par des particuliers, on y a de plus en plus reconnu des richesses inespérées en combustible minéral.

La puissance des couches de houille dans le bassin du Donetz ne dépasse que rarement deux mètres, et il est à remarquer que les couches d'une puissance inférieure à un mètre donnent toutes un charbon pur de tout délit intermédiaire, tandis que les couches plus puissantes contiennent quelques délits de schistes ou de grès. Dans la plupart des cas, le toit et le mur des couches se composent de schistes argileux ou de grès.

Le combustible minéral, exploité dans le bassin du Donetz, est remarquable non seulement par ses quantités

énormes, mais aussi par la variété de ses qualités. On y trouve la série complète de tous les genres de combustibles minéraux depuis le charbon sec jusqu'à l'anthracite ; les différentes qualités de charbon occupent cependant des surfaces très inégales. Les charbons secs, à longue flamme, ne se trouvent que dans la partie Nord-Est du bassin, près de Lisitchansk, et sur une étendue très minime ; les charbons gras et les charbons de forge présentent une bande mince entre les charbons maigres et les charbons collants. Ces derniers, pouvant donner un coke bon pour les procédés métallurgiques, présentent deux champs indépendants assez éloignés l'un de l'autre et d'une superficie relativement considérable ; les demi-anthracites forment la transition entre les houilles collantes et les véritables anthracites qui couvrent toute la partie Sud-Est du bassin.

Les houilles sèches s'abattent en gros blocs, mais à l'air tombent en menu, ce qui fait qu'elles ne se prêtent ni à l'emmagasinage, ni au transport à de grandes distances ; cette houille contient aussi passablement de soufre et de cendres. La houille à gaz a l'aspect d'une houille grasse, elle tombe en menu au chantier, mais étant pure et plus ou moins collante, elle n'en est pas moins bonne pour la consommation domestique. Les charbons collants sont noirs, mats et tous menus ; on les emploie comme combustible domestique et dans l'industrie, ainsi que pour la fabrication du coke ; leur teneur en soufre et en cendres est assez minime. Les demi-anthracites sont de plusieurs qualités : les uns ont l'aspect bitumineux, s'abattent au chantier en gros blocs à petites facettes brillantes et brûlent à longue flamme ; les autres sont d'une couleur noire, à grandes faces brillantes, brûlent à courte flamme, mais comme ils contiennent des lits de schiste et des filons de spath calcaire, ils décrépitent au feu et s'éteignent facilement. Enfin, les anthracites,

d'un noir brillant, d'une cassure conchoïdale, s'abattent en gros blocs compacts et brûlent sans flamme.

La composition chimique (moyenne) des cinq groupes de charbon du bassin du Donetz est donnée dans le tableau suivant :

	MATIÈRES volatiles et eau	CHARBON	SOUFRE	CENDRES	COKE
Groupe I.					
Houilles sèches à longue flamme	37,60-50,10	37,70-55,20	0,60-5,15	1,25-8,10	49,10-55,10
Groupe II.					
Houilles grasses :					
a) A longue flamme et à gaz	27,80-37,40	50,50-67,40	0,50-2,30	1,10-7,00	58,30-70,40
b) A courte flamme, qualité maréchale	26,40-30,60	60,20-72,40	0,25-1,60	1,30-4,00	69,40-72,90
Groupe III.					
Houilles grasses à courte flamme et à coke	12,40-23,50	66,60-85,10	0,40-3,10	0,90-8,30	70,30-87,10
Groupe IV.					
Demi-anthracites	10,20-20,30	73,50-87,50	0,20-3,00	1,50-6,20	78,40-89,60
Groupe V.					
Anthracites	4,20-11,40	85,40-91,00	0,60-2,90	2,00-9,00	90,70-95,80

Pendant longtemps dans le bassin du Donetz il n'a existé que de petites exploitations, et ce n'est que depuis la construction des chemins de fer, qui réclamèrent de grosses quantités de charbon, qu'ont commencé à être installées de grandes exploitations bien aménagées. Maintenant dans quelques-unes de ces exploitations, les travaux atteignent déjà la profondeur de plus de 200 mètres. Dans ces derniers temps, on a remarqué dans quelques mines l'apparition du grisou, et quelques explosions ayant entraîné mort d'hommes ont déjà eu lieu.

Le tableau ci-dessous indique le développement graduel de l'exploitation du charbon dans le bassin du Donetz en distinguant la houille et l'anthracite :

ANNÉES	HOUILLE	ANTHRACITE	TOTAL
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1855	—	—	73.710
1860	32.842	65.585	98.427
1865	67.224	93.775	160.999
1870	43.078	213.225	256.303
1875	421.097	421.436	842.533
1880	935.070	479.298	1.414.368
1881	953.768	541.696	1.495.464
1882	1.196.824	543.554	1.740.378
1883	1.239.458	518.394	1.757.852
1884	1.156.867	506.437	1.663.304
1885	1.348.811	534.009	1.882.820
1886	1.570.457	536.904	2.107.361
1887	1.600.827	454.607	2.055.434
1888	1.723.672	516.452	2.240.124
1889	2.385.917	724.137	3.110.054
1890	2.404.029	597.587	3.001.616
1891	2.474.218	665.150	3.139.368

Jusqu'à l'époque de la guerre de Crimée, d'après les données officielles, la quantité de combustible minéral exploité était d'environ 16.500 tonnes de houille dans le gouvernement d'Ekaterinoslav et d'environ 50.000 tonnes d'anthracite aux mines de Grouchevka dans le pays des Cosaques du Don. Sur ce total, 33.000 tonnes étaient consommées pour le chauffage des bâtiments du gouvernement et des habitations privées dans les ports de la mer Noire et de la mer d'Azov, ainsi que par les bateaux à vapeur du Volga et de la mer Caspienne ; le reste de ce combustible était consommé sur place. La houille était préférée pour les forges, l'usine de Lougansk et les salines de Slaviansk, tandis que l'anthracite se consommait particulièrement sur les bateaux à vapeur et pour le chauffage des bâtiments du gouvernement.

Le tableau précédent nous montre que, jusqu'en 1875, la quantité d'anthracite exploitée dépassait celle de la houille. Vers cette époque, l'exploitation de l'anthracite a presque atteint son apogée, grâce aux mesures prises pour cette industrie dans le pays des Cosaques du Don. En 1856, l'exploitation de l'anthracite dans cette contrée

fut déclarée libre et on autorisa la fondation de compagnies houillères. Le 8 mars 1864, fut promulgué le règlement spécial relatif à l'industrie minière dans le pays des Cosaques du Don ; ce règlement autorisait tout particulier, né Cosaque ou non, à fonder des charbonnages dans le pays. Grâce à cette mesure, l'exploitation de l'anthracite se développa et, en deux ans, on passa d'une production de 59.000 tonnes (en 1864) à une production totale de 163.800 tonnes (en 1866). Il faut ajouter que cette période coïncide avec la construction du premier chemin de fer créé en Russie spécialement pour le transport du combustible minéral ; il partait des mines d'anthracite de Grouchevka pour atteindre le bourg d'Aksaï sur le Don ; sa longueur était de 66 kilomètres.

Depuis 1866, on a entrepris et poursuivi dans le Sud de la Russie la construction systématique de tout un réseau de chemins de fer, savoir : Kozlov-Voronéj-Rostov (1868-1871), Koursk-Kharkov-Azov (1869), Kharkov-Nikolaïev (1870-1873), Konstantinovka (1872), Losovaïa-Sébastopol (1873), Rostov-Vladikavkaz (1875), de Fastov (1876), du Donetz (1878), de Marioupol (1882) et le chemin de fer d'Ekaterin (1884).

Le chemin de fer de Koursk-Kharkov-Azov, qui traverse la partie occidentale du bassin du Donetz, la plus riche en gisements de houille, a été ouvert à l'exploitation en 1869 sur toute sa longueur : 765 kilomètres. La construction de ce chemin de fer a donné un écoulement au charbon de la contrée, qui jusque-là ne pouvait avoir un rayon étendu de consommation, puisqu'il devait être transporté exclusivement en chariots à bœufs. L'influence considérable du chemin de fer Koursk-Kharkov-Azov sur le développement de l'exploitation de la houille dans le bassin du Donetz, ressort nettement des chiffres suivants : en 1869, la quantité de charbon exploitée était de 36.855 tonnes, et en 1879 cette quantité s'est élevée à

769.860 tonnes, c'est-à-dire qu'elle est devenue en dix ans vingt et une fois plus grande.

Le chemin de fer Kozlov-Voronéj-Rostov a relié les exploitations d'anthracite de la partie Est du bassin du Donetz au réseau général des chemins de fer de l'Empire, ce qui a permis de transporter ce combustible dans la zone moyenne de la Russie. Les chemins de fer de Nikolaïev et de Sébastopol ont donné aux charbons du Donetz accès à la mer Noire, tandis que le chemin de fer de Fastov réunit le bassin du Donetz avec la région des sucreries. Le chemin de fer du Donetz, dont les branches traversent en tous sens le bassin du Donetz et réunissent le chemin de fer de Koursk-Kharkov-Azov avec celui de Kozlov-Voronéj-Rostov, a donné un écoulement aux charbons des mines, situées entre ces derniers chemins et a contribué largement au développement des charbonnages du pays. La communication établie entre le bassin du Donetz et les gisements si riches des minerais de fer de Krivoï-Rog par le chemin de fer d'Ekaterin, prolongé jusqu'à son intersection avec le chemin de fer de Nikolaïev, a provoqué la construction, le long de ce chemin, de grandes usines pour la production de la fonte et la fabrication du fer et de l'acier, usines qui consomment des quantités considérables de houille et de coke. Enfin, le prolongement du chemin de Konstantinovka jusqu'à Marioupol sur le bord de la mer d'Azov et la construction dans cette ville d'un port pour le cabotage et d'engins pour le chargement automatique des vaisseaux, ont ouvert la voie la plus directe entre les principales mines de charbon et la mer, et donné la possibilité d'organiser un transport commode et économique vers les ports de la mer Noire, dont le plus important, comme consommateur de charbon, est Odessa, ville qui jusque-là devait se contenter de charbons étrangers, c'est-à-dire anglais.

La construction de ces nombreux chemins de fer, le

développement graduel de l'industrie au Sud de la Russie, l'intensité toujours croissante de la circulation par voies ferrées, qui augmente la consommation du charbon, la régularisation du transport même des charbons, ainsi que des tarifs pour ce transport, l'établissement de droits d'entrée sur les charbons et cokes importés par les ports de la mer Noire et de la mer d'Azov, pour protéger l'exploitation et la fabrication indigène de ces produits, tout cela a provoqué un développement rapide de l'exploitation du charbon dans le bassin du Donetz, exploitation qui a doublé dans ces dix dernières années.

Il est à remarquer que la production des charbons du Sud de la Russie est entretenue principalement par les demandes des régions éloignées de l'Empire et ne trouve sur place que fort peu de consommateurs. La production des charbons pourrait se développer bien plus rapidement, si l'on n'était obligé de les transporter à grandes distances par chemins de fer à une seule voie et, de plus, encombrés de marchandises dont le transport est plus rémunérateur que celui du combustible minéral.

La répartition des charbons du Donetz entre ses divers consommateurs, peut être donnée d'une façon très précise pour ce qui concerne spécialement la houille exportée de la partie occidentale du bassin du Donetz, pendant les dix dernières années (pour l'anthracite, on n'a pas de données aussi exactes):

CONSOMMATEURS	1880	1885	1890	1891
	Wagons de 10 tonnes.			
Chemins de fer	36.781	55.973	60.911	68.715
Flotte impériale de la mer Noire	6	648	117	—
Navigation à vapeur par mer et rivières	3.780	6.036	13.124	12.586
Usines à gaz	535	775	2.995	3.789
Usines métallurgiques	326	190	34.745	48.672
Sucreries	11.420	15.362	19.274	17.719
Etablissements industriels et consommation domestique	11.711	39.846	64.542	73.257
	64.559	118.830	195.708	224.738

Ainsi, nous voyons que la consommation générale de la houille du Donetz a triplé dans la période décennale 1880-1890. Les totaux partiels ne peuvent pas être comparés ; en effet, l'année 1890, si on considère spécialement les quantités de charbon demandées par les chemins de fer et les sucreries ne peut pas être admise comme année normale : les consommateurs, craignant le renouvellement de la crise charbonnière de 1888-1889, ont fait en 1889 de grands approvisionnements de combustible. Ainsi, en 1889, les chemins de fer se sont fait livrer 84.426 wagons et les sucreries 30.640 wagons de charbon, c'est-à-dire les premiers 40 p. 100 et les seconds 52 p. 100 de plus que pendant l'année 1890 ; d'un autre côté, les usines métallurgiques nouvellement créées au Sud de la Russie réclamèrent des quantités considérables de combustibles — charbon et coke.

La fabrication du coke, dans les trois dernières années, dans le bassin du Donetz a atteint : en 1889, 167.790 tonnes ; en 1890, 278.460 tonnes ; et en 1891, 335.790 tonnes.

En somme, pendant l'année 1891, on a exploité, dans le bassin du Donetz, 257 mines de charbon ; 152 mines travaillaient sur les gisements d'anthracite et 125 mines sur ceux de houille.

Le tableau ci-dessus nous montre qu'en 1891 on a exploité dans le bassin du Donetz presque quatre fois plus de houille que d'anthracite ; on peut donc en conclure que l'exploitation de l'anthracite reste encore à l'état de petite industrie, quoique cependant il y ait des mines dont la production a dépassé 65.000 tonnes ; mais, par contre, il y a une quantité de mines qui produisent moins de 500 tonnes. Parmi les exploitations de houille, nous en trouvons d'assez considérables qui donnent : 82.000, 131.000, 246.000 et même 360.000 tonnes par an.

Le bassin du Centre ou de Moscou s'étend sur les gouvernements de Tver, Moscou, Kalouga et Toula et sur

partie des gouvernements de Novgorod, Smolensk, Riazan, Vladimir et Tambov. De ce bassin central, qui a une longueur de 600 kilomètres et une largeur de 400 kilomètres, se détache une assez large bande de terrains du système carbonifère qui se poursuit au travers des gouvernements d'Olonetz et d'Arkhangelsk jusqu'à la mer Blanche.

Les roches prédominantes du bassin houiller du Centre de la Russie sont les calcaires ; les gisements houillers du bassin sont enclavés entre les calcaires inférieurs et la formation dévonienne (*).

Les gisements de houille du bassin de Moscou étaient déjà connus à la fin du siècle dernier ; les premiers furent découverts, en 1768, sur la limite du bassin, dans le gouvernement de Novgorod, et, en 1796, dans le gouvernement de Riazan. La destruction rapide des forêts dans le Centre de la Russie avait conduit le gouvernement à porter son attention sur les gisements houillers du bassin de Moscou et à tenter d'y développer l'exploitation de la houille ; mais les explorations faites à diverses reprises dans le gouvernement de Toula avaient amené à conclure que le charbon de cette contrée n'était pas de bonne qualité, qu'il n'existait que sous forme d'amas et que, par conséquent, on ne pouvait y installer d'exploitations régulières. Cette opinion eut cours jusqu'en 1858, époque où le comte Bobrinsky, ayant besoin de combustible pour ses sucreries, entreprit des explorations sur les terres de son domaine Malevka, dans le gouvernement de Toula ; le résultat de ces recherches fut la découverte d'une couche de charbon d'une grande étendue horizontale. L'exploitation qu'on y commença, décida les proprié-

(*) Dans certains endroits, entre les gisements de charbon et les roches dévoniennes, on rencontre encore des calcaires du système carbonifère.

taires voisins à tenter de nouvelles recherches, qui donnèrent de bons résultats et eurent pour conséquence l'installation de nouveaux charbonnages.

Le développement rapide du réseau des chemins de fer dans la Russie centrale, entre 1855 et 1860, activa l'exploitation du charbon dans les gouvernements de Riazan et Toula.

Les résultats de l'exploitation de la houille dans le bassin de Moscou sont résumés dans le tableau suivant :

ANNÉES	HOUILLE exploitée	ANNÉES	HOUILLE exploitée
	tonnes		tonnes
1860	10.340	1884	393.276
1865	22.462	1885	349.017
1870	85.186	1886	256.385
1875	387.528	1887	288.109
1880	411.430	1888	276.249
1881	383.721	1889	306.262
1882	399.677	1890	233.711
1883	372.342	1891	180.529

La réduction de la production du charbon de ce bassin, qu'on remarque dans les dernières années, provient, en partie, de la concurrence des charbons du Donetz, mais surtout du développement de la consommation des résidus de pétrole dans le rayon industriel de Moscou, où l'on employait auparavant, pour le chauffage des chaudières, le charbon, la tourbe, etc.

On connaît maintenant, dans le bassin du Centre de la Russie, plus de 200 gisements, mais il n'y en a que 12 en exploitation. S'il en est ainsi, c'est que les gisements houillers de ce district sont, en général, d'une exploitation difficile ; le charbon est souvent de mauvaise qualité, il ne supporte ni transport, ni emmagasinage prolongé ; il contient beaucoup de cendres et ne donne pas de coke. En somme, le combustible minéral du bassin de Moscou n'est que d'assez médiocre qualité, quoique bon pour le chauffage des chaudières, la consommation domestique

et la production du gaz d'éclairage. Les consommateurs principaux du charbon du bassin de Moscou sont les chemins de fer de la zone moyenne de la Russie et les fabriques de la contrée.

La composition chimique des charbons du bassin de Moscou est, en moyenne, la suivante :

	p. 100.		p. 100.
Carbone	de 24,5	à	50,8
Matières volatiles	24,1		49,1
Eau hygroscopique	3,1		15,9
Soufre	9,0		22,4
Cendres	2,0		14,4

Les meilleurs charbons des gisements de ce bassin sont ceux qu'on nomme en Angleterre *boghead*, et qui se distinguent par leur grande teneur en hydrogène et contiennent beaucoup de gaz, qui se dégagent à la distillation sèche.

Bassin de Kiev-Elisabetgrad. — Quoique les gisements de lignite, dans les environs de Kiev, fussent connus depuis longtemps, cependant la mauvaise qualité en empêchait l'emploi comme combustible. Dans les années 1860-1865, on découvrit, dans les terres gouvernementales d'Ekaterinopol, dans le district de Svenigorod, et sur le domaine Sméla du comte Bobrinsky, dans le district de Tcherkassi (gouvernement de Kiev), de nouveaux gisements de lignite en couches assez puissantes ; ces gisements sont maintenant en exploitation.

Plus tard, on a découvert encore des gisements du même combustible le long du chemin de fer Fastov, mais aucun d'entre eux n'est exploité.

Les recherches géologiques ont prouvé que le lignite du bassin de Kiev-Elisabetgrad appartient à la formation tertiaire, que cette formation s'étend dans le gouvernement de Kherson et que la superficie du terrain, où l'on

peut s'attendre à trouver des gisements de ce combustible, est de 5.000 kilomètres carrés dans les limites des gouvernements de Kiev et de Kherson.

Les données concernant l'exploitation du lignite, dans le bassin de Kiev-Elisabetgrad, sont groupées dans le tableau suivant :

ANNÉES	HOUILLE exploitée	ANNÉES	HOUILLE exploitée
	tonnes		tonnes
1868	1.687	1885	9.086
1875	17.903	1886	14.082
1880	8.753	1887	9.155
1881	9.569	1888	3.522
1882	10.755	1889	13.972
1883	9.363	1890	11.356
1884	10.401	1891	14.096

Le bassin de la Pologne est situé dans la partie Sud-Ouest du royaume de Pologne et occupe une partie du district de Bendzin (gouvernement de Pétrokov) et une partie du district d'Olkouche (gouvernement de Kielce). Au point de vue stratigraphique, ce bassin n'est que le prolongement du bassin silésien, dont la partie occidentale appartient au royaume de Prusse et la partie méridionale à l'Autriche.

La topographie superficielle du bassin polonais est en rapport très intime avec sa structure géologique. En général, le terrain est faiblement montagneux avec une pente générale vers le Sud-Ouest, où l'on voit des sédiments plus anciens prendre la place des sédiments les plus récents. Les affleurements des couches du terrain carbonifère sont entourés de roches des formations triasique et jurassique; ils se trouvent à une hauteur de 270 à 280 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La superficie totale du bassin houiller polonais silésien, où l'on peut présumer l'existence des couches de houille exploitables, est de 5.800 kilomètres carrés, dont 4.000

sur territoire prussien, 1.000 sur territoire autrichien et près de 800 en Russie.

L'étendue du bassin, où des explorations ont fait constater la présence de couches de houille, peut être évaluée à environ 2.100 kilomètres carrés, dont 900 en Prusse, 700 en Autriche et 500 en Russie. Sous le rapport pétrographique, les couches carbonifères en Russie se présentent sous forme de grès et de schistes peu distincts les uns des autres. Les produits utiles de ce système carbonifère sont : la houille, les minerais de fer, les grès et l'argile réfractaire.

D'après les recherches paléontologiques, les sédiments carbonifères du bassin polonais-silésien, dans leur entier, peuvent être subdivisés de la façon suivante :

I. Étage supérieur productif, contenant les couches de houille ;

II. Étage inférieur, ou étage du Culm qui ne contient pas de couches de houille et forme la base du bassin houiller proprement dit.

L'étage supérieur peut être lui-même divisé en deux sous-étages : supérieur et inférieur. Le sous-étage supérieur se distingue par la puissance des couches de houille qu'il renferme, tandis que le sous-étage inférieur, quoique contenant de nombreuses couches de houille, n'en contient que de puissance médiocre. Les couches de houille qui sont reconnues en Pologne appartiennent principalement au sous-étage supérieur.

La bande des terrains carbonifères, qui, reconnue de Zabrze jusqu'à Myslovitz en Prusse, se prolonge, à l'Est, en Pologne et, au Sud, en Autriche, est de beaucoup celle qui a la plus grande importance industrielle dans tout ce bassin houiller polonais-silésien.

Sur cette bande, se concentrent les exploitations principales de charbon. Les gisements de houille qui s'y exploitent se divisent en trois groupes : 1) celui du

milieu, le groupe de la grande couche, connu en Pologne sous le nom de *Reden* et, en Prusse, sous celui de *Sattelflötz;* 2) le groupe supérieur, situé au-dessus du premier, d'une puissance moins grande et dont le charbon possède d'autres qualités, et enfin 3) le groupe inférieur, situé au-dessous du premier et également d'une puissance moins grande. En Pologne, les trois groupes sont en exploitation.

La puissance des couches, ainsi que la qualité du charbon, est loin d'être uniforme sur toute l'étendue de la bande carbonifère. Dans la partie Est, en Pologne, se trouve la couche *Reden*, dont la puissance moyenne est de 8 à 15 mètres et atteint même 20 mètres ; cette couche, dans son prolongement vers l'Ouest, est fractionnée par des lits schisteux dont l'épaisseur augmente de plus en plus et qui finissent par diviser la couche en deux, trois et enfin quatre couches distinctes, chacune d'une puissance de 2 à 8 mètres.

La division et l'amincissement de la grande couche sont accompagnés d'une transformation progressive des qualités du charbon. A l'extrémité Ouest du système, près de Zabrze en Prusse, les couches de la grande masse de *Reden* donnent un charbon à coke ; les couches inférieures du groupe supérieur situé au-dessus de la couche *Reden*, y donnent un charbon à gaz et seul le charbon des couches les plus élevées au-dessus de la grande masse peut être considéré comme appartenant au type des charbons maigres. En approchant de la frontière polonaise, les charbons du groupe *Reden* ne donnent déjà plus de coke, mais peuvent encore être employés pour la fabrication du gaz ; enfin, en Pologne, les charbons ne sont bons ni pour la fabrication du coke, ni pour celle du gaz.

Au-dessus de la couche *Reden*, il a été reconnu, en Pologne, douze couches, dont la puissance totale est de

18 mètres ; le groupe de la grande masse de *Reden* présente ici une puissance de 15 à 20 mètres ; enfin, dans le groupe inférieur, au-dessous de *Reden*, on connaît, en Pologne, neuf couches, d'une puissance totale de près de 15 mètres.

Au point de vue stratigraphique, nous pouvons dire que la direction générale des couches carbonifères de la contrée est N.-O. — S.-E. avec pendage vers le S.-O., et que les affleurements sont visibles sur une grande étendue.

Dans les parties les plus méridionales, mais toujours dans les limites de la Pologne, la grande couche *Reden* et avec elle les autres couches carbonifères se relient et forment un bassin où se sont déposées des couches du trias.

Par suite de l'allure générale de tout le système carbonifère du pays, la grande couche *Reden* est exploitée à des profondeurs variant de 70 à 240 mètres et, sur un point, à 280 mètres, tandis que les couches du groupe inférieur à celui de *Reden* ne s'exploitent qu'à la profondeur de 36 à 60 mètres.

Le système d'exploitation en Pologne était, jusqu'à ces derniers temps, le même qu'en Silésie prussienne. Mais, par suite de la puissance énorme de la couche de *Reden*, ce mode d'exploitation provoquait de nombreux accidents et, d'autre part, l'impossibilité de déhouiller toute la couche donnait des pertes considérables en charbon et occasionnait, par suite de l'inflammation spontanée du charbon resté dans les travaux, de fréquents incendies dans les mines, incendies qui duraient parfois des dizaines d'années et forçaient l'administration de prendre des mesures de sauvetage aussi radicales que la submersion de toutes les mines du groupe. Ces circonstances ont obligé le gouvernement à donner une attention toute spéciale à la conduite des travaux, et maintenant l'exploita-

tion ne s'exécute que suivant des plans approuvés par le gouvernement, dans toutes les couches de plus de 4 à 6 mètres de puissance, en tenant compte des circonstances locales. Le seul mode d'exploitation employé est maintenant celui avec remblayage.

A côté des incendies qui se produisent dans un certain nombre de charbonnage, les mines de houille, en Pologne, ont parfois aussi à craindre des venues d'eau, qui proviennent de la faible puissance des couches de recouvrement très aquifères.

Par suite de la grande dureté des couches de charbon, le travail d'abatage se fait partout à la poudre noire, ce qui n'est possible que grâce à l'absence complète de grisou dans les mines de la contrée.

Des couches de lignite sont connues dans le district de Bendzin (gouvernement de Pétrokov); elles appartiennent à la formation du keuper. La puissance de ces couches est d'environ 2 mètres.

Les analyses des charbons provenant de divers groupes ont donné les résultats suivants :

	MATIÈRES volatiles et eau	CHARBON	CENDRES	COKE
Couche Reden	35,5 - 41,6	53,1 - 63,6	2,3 - 7,7	58,3 - 66,0
	24,5 - 25,6	70,5 - 71,3	3,7 - 4	—
Groupe des couches inférieures	27,1 - 29,5	64,5	5,8 - 7,1	—

L'exploitation des gisements de houille, en Pologne, date de la fin du XVIII[e] siècle, mais elle n'a pris quelque importance qu'en 1816, par suite de la fondation des usines à zinc; l'exploitation de la houille s'est développée parallèlement à ces usines et, tout en subissant certaines oscillations transitoires, elle a atteint en 1860 un tonnage annuel de 163.800 tonnes. L'insurrection polonaise en 1863 et l'abolition du travail obligatoire des mineurs

en 1864 eurent une influence défavorable sur l'industrie houillère du pays; mais, en revanche, d'autres facteurs agirent favorablement. Tels furent principalement : 1) l'ouverture, vers la fin de l'année 1859, d'un embranchement du chemin de fer Varsovie-Vienne, qui traverse le bassin houiller de la Pologne et donne ainsi la possibilité de transporter la houille à Varsovie et dans les autres centres industriels du royaume; 2) le développement des industries métallurgiques et manufacturières dans le rayon du chemin de fer Varsovie-Vienne, industries qui marchent exclusivement au combustible minéral; 3) la propagation de l'emploi de la houille pour les usages domestiques; 4) la promulgation en 1870 d'une nouvelle loi minière qui règle la question des droits sur les richesses souterraines et de leur exploitation dans les gouvernements de Pologne; cette loi donna de suite une vive impulsion aux entreprises particulières et provoqua l'installation d'un grand nombre de nouveaux charbonnages, de sorte qu'à partir de 1872, la production annuelle du charbon se releva rapidement; 5) la cession des principaux charbonnages gouvernementaux à des exploitants privés; 6) l'introduction d'un droit de douanes sur la houille importée et l'augmentation graduelle de ce droit, et enfin 7) la construction, dans les années 1881-1884, du chemin de fer Ivangorod-Dombrova, qui ouvrit aux charbons du pays non seulement les marchés de la Pologne, mais leur donna encore la possibilité de parvenir dans les parties Ouest et Sud-Ouest de l'Empire par une voie plus courte et plus commode.

Le développement progressif de la production de la houille en Pologne est indiqué dans le tableau suivant :

ANNÉES	HOUILLE	LIGNITE	TOTAL
	tonnes	tonnes	tonnes
1855	—	—	72.957
1860	—	—	176 706
1865	173.512	2.457	175.969
1870	320.730	8.170	328.900
1875	392.884	15.038	407.922
1880	1.267.745	17.248	1.284.993
1881	1.397.335	7.713	1.405.048
1882	1.370.433	10.904	1.381.337
1883	1.667.265	9.936	1.677.201
1884	1.684.138	10.755	1.694.893
1885	1.770.268	19.779	1.790.047
1886	1.942.765	23.777	1.966.542
1887	1.961.457	23.079	1 984.536
1888	2.390.143	23.566	2.413.709
1889	2.445.773	29.392	2.475.165
1890	2.450.230	19.751	2.469.981
1891	2.566.748	34.899	2.601.647

Actuellement il existe en Pologne dix-neuf exploitations de houille et deux de lignite. La production annuelle des principaux charbonnages varie de 180.000 à 260.000 tonnes; le charbonnage *George* a, en 1891, extrait 685.155 tonnes. Tous ces charbonnages possèdent de beaux et puissants moteurs, tant pour l'extraction de la houille que pour l'épuisement des eaux. Toutes les mines sont munies d'appareils pour le criblage des produits et quelques-unes même d'appareils de lavage. Presque tous les charbonnages sont reliés par voies ferrées avec le chemin de fer Varsovie-Vienne et quelques-uns avec celui de Ivangorod-Dombrova.

La voie principale pour l'écoulement du charbon polonais est le chemin de fer Varsovie-Vienne, qui a transporté, en 1888, 1.654.620 tonnes et, en 1891, 1.621.620 tonnes; les plus grands consommateurs du rayon desservi par ce chemin de fer, sont : la ville manufacturière de Lodz avec tout son district industriel, pour plus de 500.000 tonnes, et Varsovie, pour 425.000 tonnes; une partie du charbon passe du chemin de fer Varsovie-Vienne sur les chemins : Saint-Pétersbourg-Varsovie, Varsovie-Terespol et sur celui de la Vistule.

Après le chemin de fer Varsovie-Vienne, la voie d'écoulement la plus importante pour le bassin de la Pologne est le chemin de fer Ivangorod-Dombrova, qui a transporté, en 1892, 449.942 tonnes.

D'après les données moyennes pour les dernières années, la consommation de la houille du bassin polonais, y compris la consommation par les chemins de fer, peut être répartie, en chiffres ronds, de la manière suivante :

Le rayon du ch. de fer Varsovie-Vienne. . . .	1.400.000	tonnes.
— — Ivangorod-Dombrova.	155.000	—
— — de la Vistule	125.000	—
— — Varsovie-Terespol . .	35.000	—
La consommation par le ch. de fer de Lodz. .	8.000	—
Quantité passant sur les ch. de fer : Sud-Ouest, de Fastov, Koursk-Kiev et Kharkov-Nikolaïev	85.000	—
Quantité passant sur le ch. de fer Moscou-Brest	19.500	—
Quantité passant sur le ch. de fer Saint-Pétersbourg-Varsovie	33.000	—
Total	1.860.500	tonnes.

Enfin une quantité de 65.000 à 80.000 tonnes reste sur les lieux de l'exploitation, c'est-à-dire dans le district de Dombrova et Sosnovitz; la plus grosse part de ce charbon est consommée par les établissements métallurgiques.

L'Oural. — Les terrains carbonifères se retrouvent sur les deux versants des monts Ourals. Sur le versant Ouest, ils forment une bande presque ininterrompue qui longe la chaîne des montagnes sur presque toute son étendue; ils se présentent aussi en forme d'îlots au milieu des sédiments plus récents. Sur le versant Est, la formation carbonifère s'observe généralement en forme de

bandes très minces avec de nombreuses interruptions et enclavées dans la masse des roches cristallines.

La composition des couches carbonifères du versant occidental est presque identique à celle des couches du bassin de Moscou ; cette ressemblance se complète encore par la position des couches de houille qui se trouvent à la base des couches carbonifères, entre le calcaire carbonifère inférieur et les couches du système dévonien. Par leurs qualités, les houilles du versant Ouest de l'Oural se distinguent de celles du bassin de Moscou : ce sont de véritables houilles et non des sortes de lignites et de bogheads, comme le sont les charbons du bassin de Moscou.

L'exploitation des gisements de houille sur le versant Ouest de l'Oural se concentre sur une petite étendue de terrain dans le Nord; la puissance des couches atteint de 1 à 5 mètres avec des renflements en quelques endroits. Les charbons sont maigres et ne donnent que rarement (après lavage) un coke aggloméré.

La composition des couches carbonifères du versant Est de l'Oural se distingue par sa complexité relative et par un caractère spécial de l'étage supérieur du système. L'étage inférieur présente au contraire une ressemblance presque complète avec l'étage correspondant du bassin houiller de Moscou et les couches carbonifères du versant Ouest de l'Oural; cet étage se compose du calcaire carbonifère inférieur sous lequel s'étendent des couches carbonifères productives; le tout repose directement sur les roches du système dévonien.

Les principaux gîtes houillers exploitables sur le versant Est de l'Oural sont distribués dans la direction du méridien, sur une étendue de 100 kilomètres. On distingue dans cette bande : la partie Nord, qui fournit des charbons maigres et des anthracites, et la partie Sud, qui contient des charbons donnant un coke bien aggloméré; sur certains points on trouve, à côté de l'anthracite, des charbons graphiteux et même du graphite à l'état de gisements indépendants.

Quoique l'exploitation de la houille dans l'Oural n'ait eu lieu d'abord, de 1851 à 1860, que sur le versant Est des montagnes et qu'on y ait découvert, dans ces derniers temps, des gisements de charbon de bonne qualité, cependant actuellement toutes les exploitations sont concentrées sur le versant Ouest.

Les résultats de ces exploitations de charbon, depuis l'année 1855, sont donnés dans le tableau suivant :

ANNÉES	HOUILLE exploitée	ANNÉES	HOUILLE exploitée
	tonnes		tonnes
1855	7.207	1884	126.503
1860	6.683	1885	178.139
1865	12.550	1886	198.313
1870	6.316	1887	163.313
1875	20.948	1888	208.961
1880	118.221	1889	262.735
1881	164.313	1890	249.363
1882	200.711	1891	245.682
1883	125.651		

L'industrie houillère du bassin de l'Oural a, jusqu'en 1870, subi de nombreux changements, provoqués par des circonstances purement accidentelles ; ainsi, par exemple, en 1864, l'exploitation dépassa 16.000 tonnes, parce que les mines de M. Wsewologesky avaient, pour un certain temps, été amodiées par une compagnie privée qui avait l'entreprise de la fourniture du combustible nécessaire aux bateaux à vapeur du Volga, de la Kama et de l'Oka. Ce n'est que depuis 1871 qu'on commença réellement une exploitation suivie et active; elle s'est développée particulièrement depuis la construction, en 1879, d'un embranchement du chemin de fer de l'Oural qui traverse les gisements du versant Ouest et aboutit à la rivière Kama.

Presque tout le charbon exploité en 1891 provient de quatre mines du versant Ouest de l'Oural. Le charbon de ce pays est consommé principalement par le chemin de fer de l'Oural, les usines métallurgiques et les salines; une faible partie est dirigée vers le Sud par la Kama.

Dans les trois dernières années, la production du coke dans l'Oural a été : en 1889, de 9.659 tonnes; en 1890, de 9.382 tonnes, et en 1891, de 8.536 tonnes. Ces chiffres montrent le rôle peu important que jouent les charbons de l'Oural dans les opérations métallurgiques.

On a découvert encore, en 1875, dans la Russie d'Europe un gisement de combustible minéral dans le gouvernement d'Olonetz, sur le bord Nord-Est du lac Onéga; ce combustible ressemble beaucoup par sa composition à l'anthracite, mais, en raison de la disposition du gite, il ne paraît pas devoir attirer sérieusement l'attention.

Combustibles minéraux de la Russie d'Asie. — Dans le *Caucase*, des gisements de charbon sont connus au Nord comme au Sud de la chaîne des montagnes. D'après les indications de M. Abich, les couches de houille de la partie Nord du Caucase se trouvent à deux horizons et existent sur toute l'étendue des grès de l'étage moyen de la formation jurassique; ici le charbon est exploité déjà depuis 1846 sur les bords de la rivière Kouban, où il se présente sous forme de couches minces. La houille du Kouban est noire, assez brillante et dure; dans la masse de ce combustible, on trouve souvent des pyrites, du gypse en petits filons et de gros blocs de sidérite; cette houille brûle avec une flamme brillante et donne du coke bien aggloméré. Dans ces mêmes districts du Caucase, en dehors de la houille, on exploite aussi des gisements de schistes bitumineux qui appartiennent également à la formation jurassique.

Sur le versant Sud des montagnes du Caucase, on exploite le charbon dans le gouvernement de Koutaïs; à 50 kilomètres de cette ville, se trouve le gisement de houille de Tkviboul, remarquable par sa puissance. On connaît ici plusieurs couches superposées d'une épaisseur totale de 14 mètres. La qualité du charbon des diverses couches est très variable; l'aspect extérieur et la composition chimique des échantillons indiquent plusieurs variétés tout à fait différentes. Les gisements carbonifères des environs de Koutaïs appartiennent aussi à la formation jurassique.

En 1891, les gisements de Tkviboul étaient exploités par une seule mine qui ne produisait encore que 6.994 tonnes de houille.

Dans la *Sibérie occidentale*, le bassin houiller le plus remarquable est celui de Kouznetzk, située dans la partie Sud-Est du gouvernement de Tomsk, entre les chaînes des montagnes Salaïr et Alataou. Cette région carbonifère présente un vaste bassin, traversé par la rivière Tom qui le divise en deux parties; l'étendue du bassin est de 420 kilomètres de long et 105 kilomètres de large, ce qui fait une superficie de près de 44.000 kilomètres. Ce bassin contient dans plusieurs endroits de puissantes couches de houille d'une excellente qualité.

Les sédiments qui forment ce bassin appartiennent en partie à la formation post-tertiaire et en partie aux formations dévonienne, carbonifère et jurassique; les couches contenant les gisements de houille appartiennent à la dernière de ces formations.

Les recherches, qui ont été faites dans le bassin de Kouznetzk, ont fait reconnaître en plusieurs endroits la présence de séries nombreuses de couches de houille d'une puissance de 1 à 12 mètres et plus, et les quantités calculées de charbon s'évaluent par millions de tonnes.

La présence de la houille près de Kouznetzk était déjà connue au commencement du XVIII[e] siècle; une exploitation plus ou moins régulière n'a cependant commencé qu'au milieu de ce siècle. Il n'y a actuellement en activité que deux mines qui ont donné, en 1891, une production de 18.800 tonnes de charbon. La plus ancienne de ces mines est celle de Batchat, dans laquelle on a exploité une couche qui présente des successions d'étranglements et de renflements; ces derniers atteignent quelquefois la puissance de 50 mètres. La houille de cette couche était de qualités très variables : celle du milieu de la couche était sèche, compacte, terne, non collante et brûlant presque sans flamme; celle des côtés du mur et du toit était grasse ou demi-grasse, friable, brillante, brûlant à longue flamme et donnant un bon coke aggloméré.

Dans la mine Koltchouguine, les explorations ont amené la découverte de quatre couches de 2 à 4 mètres presque horizontale. Cette houille donne un coke bien aggloméré; elle ne contient que 2 p. 100 de cendre.

La houille du bassin de Kouznetzk est consommée principalement pour la fusion des minerais dans le district de l'Altaï.

Dans ces trois dernières années, dans le bassin de Kouznetzk, on a produit : en 1889, 5.089 tonnes de coke; en 1890, 6.747 tonnes, et en 1891, 6.876 tonnes.

Dans *les steppes des Kirghiz*, on trouve aussi dans divers endroits des gisements de houille qui furent reconnus pour la première fois vers 1838. Il a existé dans ces steppes, à différentes époques, plusieurs exploitations, mais elles n'ont jamais été que superficielles et on n'a fait nulle part de recherches détaillées pour préciser les quantités de combustible contenues dans ces gisements.

D'après les assertions des personnes qui ont fait des recherches géologiques dans les steppes des Kirghiz, tous les gisements de houille du pays appartiennent à la formation carbonifère. Les qualités des charbons des steppes des Kirghiz sont très variables; il y en a, entre autres, qui donnent du bon coke bien aggloméré.

D'après les données statistiques pour l'année 1891, l'exploitation de la houille avait lieu dans quatre charbonnages qui ont produit en totalité 1.100 tonnes de charbon et 1.150 tonnes de lignite et schistes bitumineux.

Dans *la Sibérie orientale*, des gisements de houille ont été découverts dans plusieurs endroits : dans les gouvernements de Iéniseïsk et d'Irkoustsk, ainsi que dans les provinces de Yakoutsk, Transbaïcalienne, de l'Amour, dans la province Maritime et dans le Kamtchatka. Les gisements les plus remarquables sont ceux de la province Maritime; ce sont les seuls en exploitation dans la Sibérie orientale.

L'île *Sakhalin*, qui fait partie de la province Maritime, présente une formation tout à fait indépendante du continent et se distingue par la richesse de ses gisements houillers. Grâce aux explorations faites sur cette île depuis 1851, on y a trouvé toute une série de gisements situés tout le long de la côte occidentale sur une étendue de 950 kilomètres, sur la côte orientale, ainsi que dans l'intérieur de l'île. Les gisements les plus vastes, qui contiennent en même temps une houille de très bonne qualité, se trouvent dans le milieu de la bande carbonifère de la côte occidentale.

Quoique les gisements de Sakhalin appartiennent à la formation tertiaire, les charbons, ceux de Doui, par exemple, où se trouvent les seuls charbonnages de l'île,

sont d'excellentes qualités et ne le cèdent en rien aux meilleurs charbons du Pays de Galles. Les couches de houille de Sakhalin dépassent rarement un mètre de puissance; elles s'exploitent facilement au moyen de galeries de niveau tracées dans la couche même. Les affleurements de ces couches apparaissent à découvert sur la pente escarpée de la falaise. Les charbons de Sakhalin approvisionnent la flotte russe du Pacifique, ainsi que les navires étrangers, militaires et privés; l'exploitation se développe en raison même de ces demandes.

Néanmoins, par suite de la distance considérable qui sépare ces charbonnages de Sakhalin du port de Vladivostok, le gouvernement s'est préoccupé de rechercher d'autres gisements. Depuis l'annexion de la province Maritime, des traces de charbon avaient été signalées non seulement tout le long des rives du Pacifique entre la baie de Sainte-Olga et les frontières de la Corée, mais aussi dans l'intérieur du pays; ces charbons furent même exploités déjà vers l'année 1860 en plusieurs endroits. Le gouvernement entreprit donc, en 1886, des recherches et une exploration détaillée de toute la partie Sud de la province Maritime. De tous les gisements houillers qui furent reconnus, le meilleur et le plus riche en charbon a été celui situé sur les bords de la rivière Soutchan, à 45 kilomètres de son embouchure dans le golfe d'Amérique. Ce gisement présente une couche de 1 à 2 mètres de puissance; il contient un charbon qui, sur certains points, est collant et donne du coke, et sur d'autres brûle sans fumée, analogue en cela au charbon de Cardiff.

Dans *le Turkestan*, l'absence de tout combustible a forcé le gouvernement, dès qu'il fut maître de la contrée, d'organiser des recherches en vue de retrouver les combustibles minéraux dont on soupçonnait plus ou moins

l'existence dans le pays. Ces recherches ne furent pas infructueuses : on a découvert des gisements de houille en plusieurs endroits et quelques-uns de ces gisements sont déjà en exploitation.

Dans la province du Syr-Daria, la présence du charbon dans les montagnes du Karataou, au Nord-Est de la ville de Turkestan, fut constatée immédiatement après l'entrée dans le pays de l'armée russe; en effet, les aborigènes connaissaient déjà ce combustible. En vue d'approvisionner la flottille de la mer d'Aral avec de la houille du pays, on entreprit des recherches de nouveaux gisements de charbon et l'exploration de ceux déjà connus, et on créa des installations. On exploite actuellement plusieurs gisements aux environs de Tchimkent, Tachkent et Khodjent; la puissance de certaines des couches de ces gisements approche de 5 mètres; il existe d'ailleurs des séries de couches de houille superposées.

En 1891, dans le pays du Turkestan, il y avait en exploitation six mines qui ont donné 8.090 tonnes de charbon.

En finissant, nous donnons ci-dessous deux tableaux : le premier contient des indications relatives à la constitution chimique des charbons des différentes contrées de la Russie d'Asie, et le second les quantités qui y ont été exploitées :

	MATIÈRES volatiles	CHARBON	CENDRES
	p. 100	p. 100	p. 100
Caucase : de la rivière Kouban . . .	37 — 43	51,4 — 58,9	3,1 — 5,6
— du gisement de Tkviboul.	37,9 — 43	39,1 — 55,5	2 — 23
Bassin de Kouznetzk.	17,7 — 25,8	67,8 — 74,7	2 — 8
Ile Sakhalin.	26,3 — 30,3	55,4 — 68	2 — 10
Steppes des Kirghiz.	10 — 42	27,5 — 64,4	4 — 25
Turkestan.	34 — 40	55,3 — 56,8	2 — 10

ANNÉES	BASSIN de Kouznetzk	STEPPES des Kirghiz	ILE SAKHALIN	TURKESTAN	CAUCASE
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1860	901	3.032	2.179	—	1.638
1865	4.377	3.312	138	—	2.375
1870	5.733	7.828	2.018	1.229	3.242
1875	4.201	13.636	1.571	6.798	6.177
1880	7.939	20.311	8.221	4.990	6.344
1881	7.979	17.217	5.201	—	3.574
1882	6.917	17.443	11.584	—	1.769
1883	6.067	20.798	6.081	—	1.681
1884	8.881	24.845	6.945	—	862
1885	13.029	26.791	9.007	6.839	3.489
1886	14 300	5.022	6.713	5.577	2.179
1887	13.232	1.188	9.112	5.990	3.533
1888	16.550	1.502	9.833	6.979	8.377
1889	14.668	2.862	10.650	6.932	10.925
1890	17.223	2.075	14.619	4.929	9.904
1891	18.812	2.277	17.662	8.090	8.019

Sel.

En Russie, le sel apparait dans la nature sous trois formes, également remarquables par leur richesse : 1) le sel gemme ; 2) les lacs salins, et 3) les sources salées.

I. On connaît les gisements suivants de *sel gemme* (*) :

1) Le gisement d'Iletzkaïa-Zachtita se trouve à 70 kilomètres au Sud de la ville d'Orenbourg et présente un des plus grand amas de sel du monde. Les explorations qui y ont été faites ont démontré que le sel forme un amas énorme, dont les dimensions, ni en épaisseur, ni en étendue, ne sont encore exactement précisées. On sait seulement que cette couche a une étendue de plus de 3 kilomètres carrés et une puissance de plus de 130 mètres et présente une masse de plus de 250 millions de tonnes de sel. Pour sa pureté, le sel gemme d'Iletzkaïa-Zachtchita n'a pas son rival. Sur toute la profondeur traversée par les sondages, il se présente en une masse de sel pur recoupée

(*) Voir la carte des régions de productions du sel, Pl. VIII.

seulement par trois minces strates d'argile rouge et de gypse. Ce gisement appartient à l'État et est donné à ferme à des entrepreneurs privés.

2) Le gisement de sel gemme de la montagne Tchaptchatchi est situé dans le gouvernement d'Astrakhan, à une distance de 90 kilomètres du Volga. L'exploration de ce gisement a fait reconnaître un amas énorme d'une longueur de 3 kilomètres sur une largeur de près de 1 kilomètre ; quant à son épaisseur, elle n'est pas inférieure à 85 mètres, profondeur des sondages exécutés jusqu'à présent.

3) Le gisement de Bakhmout ou de Brianzevka, dans le gouvernement d'Ekaterinoslav, n'est découvert que depuis quinze ans. L'idée de rechercher un gisement en cet endroit fut suscitée par le fait de la présence de sources salées anciennement connues et situées près des villes de Bakhmout et de Slaviansk, à une distance de plus de 40 kilomètres l'une de l'autre. L'hypothèse de la présence possible d'un gisement de sel gemme dans ces parages, c'est-à-dire dans la partie Sud du gouvernement de Kharkov et dans la partie Nord-Est du gouvernement d'Ekaterinoslav, fut émise en 1841 par M. Le Play, explorateur du bassin du Donetz. Les recherches géologiques, exécutées en 1870 entre Bakhmout et Slaviansk, confirmèrent complètement cette supposition. Profitant de ces résultats, des sondages, exécutés par des particuliers, rencontrèrent des gisements de sel gemme. Pour résoudre finalement la question de la présence du sel dans cette contrée si voisine du bassin du Donetz déjà si riche en charbon, le gouvernement entreprit, en 1876, deux sondages, dont l'un, près du village de Brianzevka, à une distance de 10 kilomètres de la ville de Bakhmout, rencontra à la profondeur de 85 mètres la première couche de sel de $1^{m},33$ de puissance ; puis, à la profondeur de 98 mètres, le trou de sonde entra dans la seconde couche de 36 mè-

tres de puissance ; en approfondissant le sondage jusqu'à 232 mètres, on rencontra encore sept couches de sel et le travail fut alors arrêté sans avoir traversé la dernière. En somme, le sondage traversa 104 mètres de sel pur. En comparant la puissance de ces couches de sel avec l'étendue du bassin de Slaviansk-Bakhmout, on peut se faire une idée de l'importance de cette découverte non seulement pour le Sud de la Russie, mais aussi pour tout l'Empire.

4) En Transcaucasie et notamment dans le gouvernement d'Erivan, on exploite les gisements suivants de sel gemme : ceux de Koulpinsk, de Nakhitchevan et de Soustinsk et dans la province de Kars, les gisements de Kaghisman et d'Oltinsk.

5) Dans la province Transcaspienne, on a aussi un gisement de sel (le lac sec de Karababa) près du golfe de Krasnovodsk, exploité très irrégulièrement.

II. Des *sauneries* (chantiers ou ateliers d'évaporation) se trouvent en Russie dans les endroits suivants :

1) Dans le gouvernement de Perm, à une distance de 400 kilomètres de cette ville, en amont du fleuve Kama, se trouvent les sauneries de Oussolié, Lenvensk, Dediouhine, Berézinsk et de Solikamsk.

2) Dans le gouvernement d'Arkhangelsk, on saune les eaux des sources salées et l'eau de mer sur les bords de la mer Blanche.

3) Dans le gouvernement de Vologda, on travaille dans les trois sauneries de Ledengsk, de Totma et de Serëgovsk.

4) Dans le gouvernement de Nijni-Novgorod, on connaît des sources salées près de la ville de Balakhna, qui furent exploitées jusqu'à ces derniers temps par huit sauneries.

5) Dans le gouvernement de Kharkov, dans la ville de

Slaviansk, se trouvent en activité près de vingt sauneries.

6) Dans le gouvernement d'Ekaterinoslav existe une saunerie dans la ville de Bakhmout.

7) Dans le gouvernement de Varsovie, tout près de la frontière prussienne, se trouve la saunerie de Zekhozinek.

8) Dans la Sibérie orientale existent dix sauneries, dont quatre dans le gouvernement d'Iéniseïsk, trois dans celui d'Irkoutsk, deux dans la province Transbaïcalienne et une dans celle de Yakoutsk.

III. Les *lacs salins* sont très nombreux en Russie et sont dispersés sur une étendue énorme.

1) Le gouvernement d'Astrakhan, qui occupe une partie de la grande plaine basse Aralo-Caspienne, est très riche en lacs salins et terrains salifères. Le plus grand de ces lacs est celui d'Elton, situé sur la rive gauche du Volga à 300 kilomètres de la ville de Saratov. Ce lac est un des plus grands gisements de sel du monde ; sa superficie est de plus de 200 kilomètres carrés. Tout le fond du lac est couvert d'une couche de sel qui présente une masse immense, dont la puissance n'est pas encore parfaitement précisée. Ce qui montre combien ce gisement est inépuisable, c'est le fait que, depuis plus de 150 ans qu'on l'exploite, on en a retiré plus de 9 millions de tonnes de sel, sans que ces travaux aient laissé la moindre trace. Le lac de Baskountchak, situé au pied de la montagne du Grand-Bogdo et à une distance de 50 kilomètres à l'Est du Volga, présente aussi, comme le lac d'Elton, un riche gisement de sel. La superficie du lac est de près de 110 kilomètres carrés. Les explorations du fond de ce lac, exécutées jusqu'à une profondeur de 54 mètres, ont découvert trois couches de sel, dont la première d'une puissance de $6^m,5$ à $8^m,5$ (actuellement

en exploitation), la seconde de 1 mètre et la troisième a été seulement reconnue à une profondeur de 10m,5, mais les travaux de sondage ont été arrêtés. La couche supérieure seule présente une masse de sel de 750 millions de tonnes. Le lac Baskountchak est relié au Volga par un chemin de fer spécialement aménagé pour le transport du sel; grâce à cette voie ferrée, la récolte du sel a pris un grand développement. Le sel de ce gisement est très pur.

En dehors des lacs d'Elton et de Baskountchak, on connaît encore, dans le gouvernement d'Astrakhan, près de sept cents lacs salins et environ douze cents terrains salifères.

2) Les lacs salins du gouvernement de la Tauride, appelés ordinairement *lacs salins de la Crimée*, d'après leur position géographique, sont de deux catégories : les lacs intérieurs, situés sur la presqu'île de la Crimée, et les lacs extérieurs, situés dans la partie nord du gouvernement de la Tauride, dans les districts de Mélitopol et de Dneprovsk. Tous les lacs de la Crimée se trouvent à très peu de distance du cordon littoral et ne sont séparés de la mer que par de minces dunes. La saumure des eaux de ces lacs arrive à pleine saturation seulement pendant l'été; ces eaux saturées sont conduites dans des salins spéciaux; c'est là que se dépose le sel en croûtes de quelques centimètres d'épaisseur. Le dépôt du sel dépend entièrement des conditions météorologiques : un été chaud donne une grande récolte de sel, tandis que, quand la saison est pluvieuse, la concentration marche lentement et la production du sel est moindre.

On voit donc que la production du sel, dans les salins de la Crimée, ne peut être régulière et, de plus, ces sources de sel diffèrent sous tous les rapports de celles du gouvernement d'Astrakhan.

3) Dans le gouvernement de Kherson, près de la ville

d'Odessa, se trouve le Liman (*) ou estuaire de Kouialnik et le salin qui y est installé sous le nom de *Kouialnik-Hadjibey*.

4) Dans le pays des Cosaques du Don se trouvent les lacs salins de Manitch.

5) Dans le gouvernement de Stavropol se trouve le lac salin de Tchalguin, et sur les frontières de ce gouvernement, du côté d'Astrakhan, sont encore situés les lacs salins de Mogearsk et de Haidouk.

6) Au Caucase et au delà de la chaîne caucasienne, on trouve des lacs salins dans le gouvernement de Bakou, et dans les provinces du Daghestan et du Kouban.

7) Dans la Russie asiatique, des lacs salins sont exploités dans les provinces de Tourgaï, Semipalatinsk, Yakoutsk, Transbaïcalienne, Transcaspienne et du Fergan, et dans le gouvernement de Tomsk.

Ce court aperçu pourrait donner à penser que la Russie, si riche en gisements de sel, est en état non seulement de s'approvisionner complètement en sel, mais encore d'en exporter dans d'autres pays; mais, malheureusement, la répartition géographique des différents gisements de sel en Russie est très irrégulière; ils sont situés principalement dans les parties Sud, Est et Nord-Est de l'Empire, pays qui jusqu'en ces derniers temps étaient privés de bonnes voies de communication. Ces mêmes raisons sont la cause de la cherté du sel dans les centres de sa plus grande consommation, malgré son prix tout à fait minime sur les lieux de son exploitation. Ces conditions ont été la cause du peu de consommation du sel jusqu'en ces derniers temps. Les gouvernements de la partie Ouest et Nord-Est de l'Empire devaient même employer le sel importé.

(*) Golfe marécageux à étroit débouché, d'une profondeur presque nulle, dont le fond est recouvert de sel produit par l'évaporation des eaux de mer, amenées dans le golfe en quantités plus ou moins grandes, d'après la direction et la force des vents.

L'approvisionnement de l'Empire, en sel, a toujours été une préoccupation des plus graves pour le gouvernement russe. Jusqu'en 1862, le sel était une régie de l'État. Le gouvernement, comme propriétaire des principaux gisements de sel, l'exploitait à ses frais et le mettait en vente dans ses propres magasins. Le sel exploité dans les salines appartenant à des particuliers, pouvait être vendu soit au gouvernement à des prix fixés d'avance, soit à des commerçants; mais, dans ce dernier cas, les vendeurs devaient payer un impôt par poud pour la marchandise vendue; cet impôt était fixé annuellement.

Les défauts de ce système ont obligé le gouvernement à renoncer à ce monopole du traitement du sel; il a établi l'accise sur cette denrée. Le gouvernement s'est débarrassé peu à peu de ses exploitations de salines et a remis à bail à des entrepreneurs particuliers les salines de l'État. Le sel ainsi produit dans les salines de l'État et celui des salines particulières payaient une accise; le sel employé pour la nourriture du bétail et pour les besoins industriels était libre d'impôt.

Le sel importé de l'étranger payait un droit d'entrée de 5r,87 par 100 kilogrammes.

Après l'introduction de l'accise sur le sel, les salines particulières commencèrent à se développer, et l'approvisionnement du peuple fut l'objet d'une industrie libre sur toute l'étendue de l'Empire.

Le revenu de l'accise, que recevait annuellement l'État, par suite de l'exploitation du sel, a dépassé dans certaines années 25 millions de francs.

Pour faciliter l'approvisionnement en sel de la partie la plus pauvre et en même temps la plus nombreuse de la population de l'Empire, comme aussi pour encourager l'élevage des bestiaux, la pêche, ainsi que certaines industries, et enfin en vue d'améliorer l'agriculture,

à partir du 1er janvier 1881, l'accise sur le sel a été abolie et le droit d'entrée abaissé à 3r,05 par 100 kilogrammes.

Cette mesure donna une nouvelle impulsion au développement des salines en Russie. La production annuelle des diverses variétés de sel, après l'abolition de l'accise, en 1881, est représentée dans le tableau suivant :

ANNÉES	SEL GEMME	SEL des lacs	SEL d'évaporation (sel sauné)	TOTAL
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1882	90.727	1.294.991	281.268	1.666.986
1883	119.603	723.554	294.797	1.137.954
1884	157.469	536.032	330.270	1.023.771
1885	182.719	590.963	359.492	1.133.174
1886	230.070	627.182	339.569	1.196.821
1887	261.274	608.489	286.928	1.156.692
1888	228.969	551.125	332.945	1.113.039
1889	240.866	780.975	372.460	1.394.301
1890	216.429	778.718	394.814	1.389.961
1891	224.193	719.353	407.641	1.351.187

Il est intéressant de comparer ces chiffres à ceux de la production, il y a une trentaine d'années, c'est-à-dire avant l'introduction de l'accise. En 1860, la production du sel était la suivante : sel gemme 22.150 tonnes, sel des lacs 281.000 tonnes, sel de saune ou d'évaporation 126.500 tonnes, au total 429.650 tonnes. Ainsi la plus grande augmentation porte sur le sel gemme, 880 p. 100; celle sur le sel d'évaporation est de 212 p. 100, et sur le sel des lacs de 175 p. 100; en somme, la production du sel s'est augmentée pour ces trente ans de 234 p. 100.

Depuis l'abolition de l'accise, pendant la période des dix dernières années, on remarque le fait suivant.

Après une forte augmentation, en 1882 (de 831.000, en 1881, à 1.667.000 tonnes) qui provoqua une grande baisse des prix et une diminution de la production, le développement de l'exploitation du sel, depuis 1883, marcha bien plus régulièrement.

Passons maintenant en revue les principaux gisements de sel et leurs régions de consommation.

Nous avons déjà dit que, parmi les lacs salins du gouvernement d'Astrakhan, le plus riche est celui de l'Elton. La récolte du sel y avait lieu en grandes masses dès les temps les plus reculés; mais, dans ces derniers temps, l'importance de cette exploitation s'est réduite peu à peu au fur et à mesure du développement des travaux sur le lac de Baskountchak, qui, grâce à son peu d'éloignement de la principale voie de navigation de l'Empire, le Volga (50^{km}), et aussi grâce à la construction d'un chemin de fer qui a relié le lac à ce fleuve, est devenu le centre principal d'exploitation du sel dans le gouvernement d'Astrakhan. En 1866, sur 149.800 tonnes de sel produit dans ce gouvernement, le lac d'Elton en donnait encore 95.700 tonnes; la production du lac Baskountchak était insignifiante. En 1870, le lac Elton ne produisait plus que 16.600 tonnes et celui de Baskountchak en donnait 21.000 tonnes. Dix ans plus tard, en 1880, nous voyons déjà le lac Elton ne plus donner que 9.750 tonnes, tandis que le lac Baskountchak en livrait 166.900, et en 1882, les travaux sur le lac Elton ont été définitivement abandonnés, tandis que le lac Baskountchak a eu, en 1891, une production de 235.000 tonnes.

En somme, les lacs salins du gouvernement d'Astrakhan ont donné en 1891 une production de 278.066 tonnes de sel, chiffre cependant inférieur à celui obtenu dans certaines autres années, comme 1882, où la production avait approché de 425.000 tonnes.

Une grande partie du sel des lacs du gouvernement d'Astrakhan est consommée par les pêcheries du Volga et de la mer Caspienne, où l'on prend des quantités immenses de harengs et de grands poissons du genre esturgeon; pour la salaison de ces deux variétés de poissons, on emploie principalement le sel de Baskountchak, tandis

que, pour les autres poissons, de qualités inférieures, on se contente d'un sel moins pur, provenant des autres lacs du pays. Profitant de la communication par le Volga, le sel d'Astrakhan remonte ce fleuve et s'introduit par les voies ferrées dans le Centre de la Russie jusqu'aux points où il rencontre la concurrence du sel du gouvernement de Perm d'un côté, et du sel gemme et des sels d'évaporation du bassin de Bakhmout-Slaviansk, et du sel des lacs de la Crimée.

Quoique les lacs salins de la Crimée soient moins productifs que ceux d'Elton et de Baskountchak, néanmoins ils donnent encore de grosses productions. Par suite de la plus faible salure des lacs du Sud de la Russie, le sel produit revient à des prix plus élevés que celui des lacs du gouvernement d'Astrakhan ; les exploitants doivent, en effet, installer des marais salants, ce qui est inutile du côté d'Astrakhan.

L'État, qui est le propriétaire de la plupart des lacs salins de la Crimée, les donne à bail à des entrepreneurs privés, moyennant une redevance de 0^{r},15 à 0^{r},60 par 100 kilogrammes de sel produit. Les lacs les plus productifs sont ceux de Saki et Sasik-Sivache, propriétés de l'État; ils ont donné en 1891, le premier 56.593 et le second 29.140 tonnes de sel, et les lacs privés : Krim-Elüsk et Tchongar 33.186 et 58.968 tonnes. En somme, la production des lacs de Crimée en 1890, a été de 385.254 tonnes. Les lacs des gouvernements de Kherson et de Bessarabie ont produit de leur côté, en 1891, 55.466 tonnes.

Le sel provenant des lacs mentionnés ci-dessus, s'écoule sur les marchés du Sud de la Russie, où l'on est habitué depuis longtemps à cette sorte de sel et où le sel gemme du bassin de Bakhmout ne trouve que peu d'acheteurs ; cependant ces derniers sels interceptent la propagation du sel de la Crimée vers l'intérieur du pays.

La concurrence du sel du bassin de Bakhmout-Slaviansk a obligé les propriétaires des salins de Crimée à chercher pour leurs produits d'autres marchés; ils ont profité des bas frais de transport par mer et commencent à envoyer une partie de leur production des ports de la mer Noire jusque vers ceux de la Baltique, pour y remplacer les sels étrangers. La quantité de sel qui arrive ainsi dans les ports de Riga, Reval, Vindau et Saint-Pétersbourg atteint 65.000 tonnes. En se dirigeant de ces ports vers l'intérieur du pays par chemin de fer, le sel de Crimée va au-devant des sels du bassin de Bakhmout.

Les sels des lacs du pays des Cosaques du Don, des provinces d'Ouralsk, Tourgaï, Transcaspienne et du Fergan, ainsi que ceux produits dans diverses localités du Caucase et de la Sibérie, n'ont qu'uue importance locale.

Après le sel des lacs, au point de vue de l'importance des quantités produites, doivent être placés les sels d'évaporation qu'on obtient par le moyen de sondages dans des couches de sel gemme ; ces trous de sonde donnent une eau salée à 12 à 26° Baumé, qu'on évapore économiquement grâce à l'abondance du combustible; cette méthode est plus lucrative que celle de l'exploitation directe du sel gemme, dont les couches sont à une assez grande profondeur.

Les circonstances les plus favorables pour ce mode de fabrication se rencontrent dans le gouvernement de Perm, où cette industrie date du milieu du XVI[e] siècle. Ici les eaux salées proviennent d'une profondeur de 65 à 220 mètres. Dans les salines du comte Strogonoff, un des sondages a traversé jusqu'à la profondeur de 220 mètres onze couches de sel gemme d'une puissance totale de 44 mètres. En somme, en 1891, les salines de Perm ont donné 300.000 tonnes de sel; les eaux salées étaient fournies par 64 trous de sondage et puits. Le sel des salines de Perm se répand peu vers les parties Nord de

l'Empire, mais surtout dans le Centre, grâce aux communications économiques par eau que présentent les rivières Kama et Volga avec leurs affluents.

Les plus grandes sauneries, ou ateliers d'évaporation, après celles de Perm, se trouvent dans les gouvernements de Kharkov et Ekaterinoslav dans le bassin de Bakhmout-Slaviansk ; en 1891, dix-huit ateliers d'évaporation étaient en marche à Slaviansk et un à Bakhmout. Tous ces établissements étant au voisinage immédiat du bassin houiller du Donetz, profitent du bon marché du combustible de ce pays. Les eaux salées, livrées par les sondages, ont ici de 22° à 23° Baumé. En 1890, on y a produit 81.736 tonues de sel, en partie consommé sur place et dans les environs, et en partie transporté dans les gouvernements du Centre et du Nord-Ouest.

Les autres sauneries de la Russie et de la Sibérie ne produisent que des quantités insignifiantes de sel, qui ne sert qu'aux besoins locaux.

Les gisements de sel gemme en Russie, comme nous l'avons déjà dit, sont excessivement riches; mais, par suite de diverses circonstances locales, leur exploitation n'a pu pendant longtemps prendre un grand développement; cependant dans les dix dernières années, la production a augmenté assez vite. Sur le total du sel gemme exploité en 1891, 82 p. 100, 184.198 tonnes proviennent du bassin de Bakhmout, où trois mines sont seules en activité; deux d'entre elles, qui ont une production totale de 131.000 tonnes, appartiennent à une société anonyme française, l'autre appartient à une société hollandaise. Le sel de Bakhmout s'écoule dans toutes les directions, sauf dans le Sud, où il rencontre vite la concurrence du sel de Crimée. La principale consommation du sel de Bakhmout a lieu daus les gouvernemeuts occidentaux de la Russie et en Pologne, où le peuple est habitué depuis longtemps déjà au sel gemme, qu'il recevait jadis des

mines de Wieliczka, en Galicie, et plus tard de la Prusse, où l'on découvrit, non loin de la frontière russe, près de la ville d'Inovrazlaw, un riche gisement de sel gemme. Dans ces derniers temps, non loin des mines de sel de Bakhmout, MM. Lioubimoff et Solvay ont fondé une fabrique de soude, qui traite le sel du pays.

La mine de sel d'Iletzkaïa-Zachtita, dans le gouvernement d'Orenbourg, a donné, en 1891, 23.040 tonnes de produit; parmi les gisements du Caucase, les trois mines du gouvernement d'Erivan ont produit 12.773 tonnes et les deux mines de la province de Kars 4.182 tonnes de sel. Tout ce sel sert à la consommation indigène.

Le total du sel mis en vente en 1891, monte au chiffre de 1.360.000 tonnes, ce qui fait, pour une population de 117 millions d'habitants, 11^{kg},63 par tête.

En 1891, l'industrie du sel a occupé 19.571 ouvriers.

En finissant, nous indiquerons les chiffres relatifs à l'importation du sel en Russie. Le tableau suivant montre les oscillations de l'importation du sel en Russie pour les dix dernières années :

ANNÉES	SEL IMPORTÉ	ANNÉES	SEL IMPORTÉ
	tonnes.		tonnes.
1882	168.562	1887	7.759
1883	155.117	1888	11.289
1884	74.796	1889	22.947
1885	35.169	1890	17.191
1886	19.690	1891	14.309

En raison de la propagation toujours croissante du sel du Sud de la Russie (particulièrement de celui de Bakhmout), dans la partie occidentale de l'Empire et du transpoft maritime autour de l'Europe, entrepris dans ces derniers temps, du sel de Crimée vers les ports de la Baltique, nous donnons ici des renseignements concernant la diminution dans les huit dernières années de

l'importation du sel étranger par les ports de la Baltique et les douanes de la frontière occidentale :

	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890	1891
	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.
Ports de la mer Baltique.	22.544	3.137	2.667	1.456	1.677	1.629	2.396	2.414
Frontière de terre occidentale.	49.672	28.247	15.040	5.448	8.242	19.292	11.700	9.751

Ce sel a été importé des pays suivants :

PAYS	1889	1890	1891
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Angleterre	2.414	2.971	2.299
Allemagne	16.223	10.134	8.867
Autriche-Hongrie	2.116	1.844	895
Roumanie.	2.018	1.954	1.941
France	65	—	—

Quant à l'exportation du sel russe, elle est inférieure à 8.000 tonnes.

D'après le tarif des douanes (art. 33) de l'année 1891, les droits d'entrée pour le sel sont :

1) Importé par mer et par la frontière de terre, hormis les points indiqués dans l'al. 2. 20 cop. par poud = 4^{f},88 par 100^{kg}

2). Importé par les ports du gouvernement d'Arkhangel 10 cop. par poud = 2^{f},44 par 100^{kg}

En vertu du même tarif, le sel destiné à la salaison du poisson peut être importé sur la côte du Mourmane, gouvernement d'Arkhangelsk, en franchise de droits et en quantité illimitée.

En dehors du sel comestible, on exploite encore, dans quelques lacs du Caucase et de la Sibérie occidentale, près de 8.000 tonnes par an de sel de Glauber.

Pétrole.

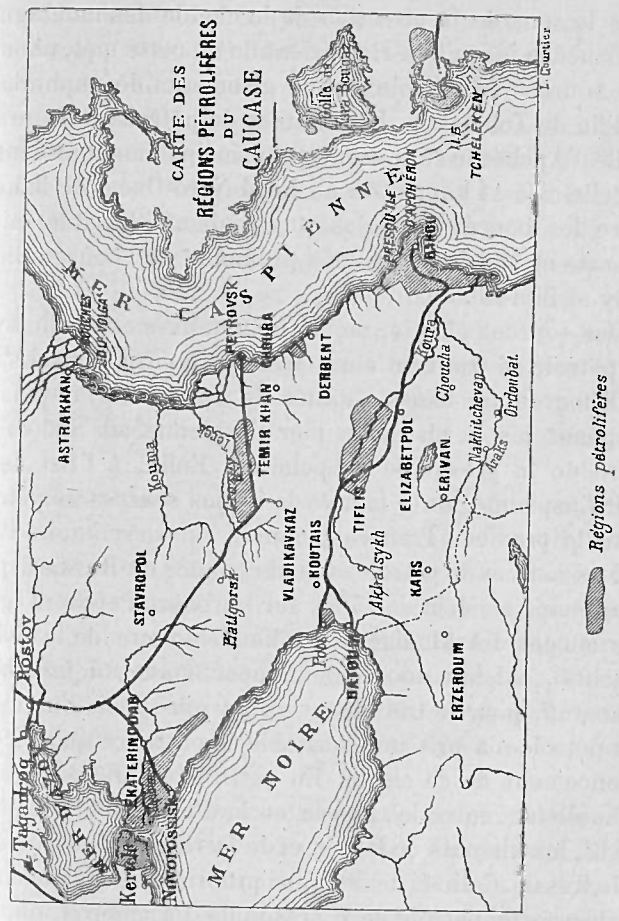
La Russie possède de nombreuses et très riches sources de pétrole et l'industrie pétrolifère y est des plus importantes.

Les gisements de pétrole en Russie se présentent soit sous forme d'îlots sporadiques, soit sous forme de superficies continues d'une très grande étendue. Parmi les premiers sont les gisements situés le long de la rivière Ouchta dans le gouvernement d'Arkhangelsk, près du Volga sur la rivière Soke, dans le gouvernement de Kielce (Pologne), dans les provinces d'Ouralsk et de Tourgaï, dans le Turkestan et dans l'île Sakhaliu. Ces divers gisements ont été jusqu'ici très peu explorés quant à leur richesse et sont presque inexploités ; les quelques exploitations entreprises ne sont encore que des essais.

Les richesses principales de la Russie en pétrole se trouvent concentrées sur les versants Nord et Sud de la chaîne du Caucase. Sur toute l'étendue de cette chaîne du Nord-Ouest au Sud-Est, en commençant à la presqu'île de Kertch, se trouvent de nombreuses veines de pétrole, des concrétions de bitume, des dégagements de gaz et autres indices indubitables de la présence de grandes accumulations de pétrole. C'est surtout dans la zone des derniers embranchements des montagnes du Caucase que les sources naturelles sont le plus abondantes. C'est ainsi que le pétrole se trouve sur toute la presqu'île de Taman, dans la vallée de la rivière Kouban et de ses affluents du côté gauche sur le versant Nord des montagnes du Caucase, sur une étendue de 265 kilomètres. Sur le même versant on constate la présence de sources de pétrole dans plusieurs endroits de la province de Tersk, entre les rivières Soungea et Terek et dans la province du Daghestan (*). Sur

(*) Des sondages exécutés en 1893 près de Groznoé, dans la province de Tersk, à une profondeur de 60 mètres, ont donné de riches fontaines jaillissantes de pétrole.

le versant Sud, au delà du Caucase, des gisements de pétrole sont connus dans le gouvernement d'Elisabetpol, entre les villes d'Elisabetpol et de Choucha, et enfin dans les gouvernements de Tiflis et de Koutaïs.



Mais la région le plus remarquablement riche en pétrole, c'est l'extrémité Sud-Est de la chaîne des montagnes du Caucase qui présente une presqu'île, celle d'Apchéron, qui s'avance très loin dans la mer Caspienne. Des déga-

gements de gaz et des sources naturelles de pétrole apparaissent sur une longue ligne qui, commençant près de la ville de Chemakha, passant par la ville de Bakou, par l'île Sainte (Swiatoï) et traversant la mer Caspienne dans le sens de la direction de la chaîne des montagnes du Caucase jusqu'à la rive orientale de cette mer, aboutit aux sources de pétrole et aux gisements de naphtalène de l'île de Tcheleken. Les sources de pétrole de la presqu'île d'Apchéron se concentrent principalement au centre de celle-ci (à 14 kilomètres au Nord-Nord-Ouest de Bakou) entre les bourgs de Balakhany, Sabountchi, Romani et Zabrate et sur des terrains à proximité des bourgs Bidagady et Bibi-Eibate.

Des sources plus ou moins nombreuses et productives de pétrole se trouvent aussi près des bourgs Sourakhany et Khourdalan, dans la vallée de Yassamale, et puis en longeant les bords de la mer Caspienne au Sud et au Nord de la presqu'île d'Apchéron. Enfin, à l'Est de la mer Caspienne, on a trouvé de riches sources de pétrole dans la province Transcaspienne.

Les sources de pétrole étaient connues en Russie depuis longtemps et, déjà en 1745, sur la rivière Petchora (gouvernement d'Arkhangelsk), à l'embouchure de la rivière Ouchta, existait une usine, appartenant au marchand Nabatoff, pour le traitement du pétrole; mais l'industrie du pétrole n'a pris une véritable importance qu'au commencement de ce siècle. En vertu d'un traité passé à Khoulistan entre la Russie et la Perse, le 12 octobre 1813, les khanats de Bakou et de Derbent furent annexés à la Russie. Celle-ci devint ainsi propriétaire des immenses richesses en pétrole de la presqu'île d'Apchéron, où, suivant le témoignage de Massoudi, écrivain arabe, l'exploitation du pétrole date déjà du IX^{e} siècle de notre ère.

Au commencement, l'industrie pétrolifère du Caucase ne se développa que très lentement, et la production

annuelle du pétrole jusqu'en 1860 ne dépassait pas 4.000 à 5.000 tonnes par an. S'il en fut ainsi, c'est que le gouvernement, après quelques essais d'exploitation à son propre compte, avait adopté le système du fermage qui, évidemment, ne pouvait donner aucun élan aux entreprises privées. Il faut aussi constater qu'il existait une autre cause non moins grave : c'est que, dans la première moitié de ce siècle, on ne connaissait pas encore de procédés pour l'extraction des huiles d'éclairage du pétrole. Néanmoins, en 1823, les frères Doubinine (à Mosdok) firent avec succès quelques essais de fabrication d'huile d'éclairage, mais cette entreprise n'attira pas l'attention qu'elle méritait, de sorte que l'usine fut bientôt fermée et, jusqu'à 1860, le pétrole n'était utilisé qu'à l'état brut soit comme combustible, soit comme matière de graissage. A cet état, le pétrole ne pouvait évidemment pas trouver un débit considérable.

Les succès dans la fabrication du photogène, en Allemagne, donnèrent une impulsion à l'industrie pétrolifère du Caucase. En 1860, commença à fonctionner une distillerie à Sourakhany et, en 1864, commença la construction des usines pétrolifères à Bakou; aussitôt il en résulta un plus grand écoulement du pétrole dont la production se développa rapidement. Ainsi, en 1863, elle était de 5.600 tonnes; en 1867 de 13.400 tonnes, et en 1870 de 28.000 tonnes.

De plus, en 1864, on commença des explorations par sondage dans la province de Kouban. Le premier sondage heureux fut terminé en 1866, dans la vallée de Koudako; c'est là qu'apparut la première fontaine jaillissante de pétrole au Caucase. Le premier pétrole sorti était très dense et les essais de traitement ne réussirent pas. En poussant le sondage jusqu'à la profondeur de 175 mètres, on rencontra du pétrole léger; les explora-

tions qu'on exécuta dans la vallée de la rivière Kouban et de ses affluents donnèrent la certitude de l'existence du pétrole dans toute cette contrée.

Enfin, en 1871, on exécuta le premier sondage sur les terres de Balakhany, sur la presqu'île d'Apchéron ; si les quantités de pétrole obtenues ne dépassaient pas celles des puits ordinaires les plus riches, cependant on n'en constata pas moins avec évidence l'avantage des travaux de sondage sur l'ancien système des creusements de puits.

Toutes ces circonstances donnèrent au gouvernement la conviction qu'il était indispensable de modifier les conditions de jouissance des terrains pétrolifères au delà du Caucase, de supprimer les fermages et de les mettre à la disposition de tous ceux qui voudraient s'occuper de leur exploitation. La loi du 1er février 1872 abolit donc le système du fermage et, conformément aux principes généraux de la loi des mines en Russie, l'industrie pétrolifère fut proclamée libre. La même loi institua un impôt sur le produit de la fabrication, le photogène.

Ce grave changement n'a point été une erreur de la part du gouvernement, il a, au contraire, réussi complètement à créer une grande industrie d'une importance considérable dans le pays. Dès la promulgation de cette loi, le régime nouveau eut plein succès : les résultats donnés par la vente aux enchères des terrains pétrolifères, jadis donnés en fermage général, dépassèrent toute attente. La superficie de la région des sources du pétrole de Balakhany fut divisée en dix-sept concessions, chacune de près de 10 hectares de surface et avec un ou plusieurs puits de pétrole. Évaluées à 1.308.250 francs, ces concessions montèrent aux enchères à la somme de 7.128.000 francs.

Malgré ces prix élevés, les entrepreneurs n'hésitèrent pas à faire de suite les frais de sondages pour remplacer les anciens puits. Ces sondages, poussés à de grandes

profondeurs, donnèrent des résultats remarquables, et la production du pétrole prit un développement qu'il eût été impossible d'attendre avec le système du fermage. En même temps, des exploitations furent ouvertes sur les terrains privés ; il en résulta pour cette industrie un nouvel essor, et les nombreux sondages qui furent exécutés par les propriétaires des terrains pétrolifères, excitèrent une large concurrence. La première fontaine jaillissante, apparue en 1873, provoqua une révolution complète dans l'industrie du pétrole ; le prix de ce produit, qui était, en 1873, de 7 francs les 100 kilogrammes, tomba subitement jusqu'à 0f,30. Cette fontaine excita la convoitise générale et, quoiqu'une partie du pétrole de la fontaine fût perdue, elle encouragea les industriels dans leurs explorations et recherches et leur inspira pleine confiance dans le sondage comme moyen le plus sûr pour faire fortune. La rapidité du développement de la production du pétrole est caractérisée par le fait qu'en 1872 la production totale en Russie n'excédait pas 28.650 tonnes, tandis que, déjà dans les premières années après la promulgation de la loi établissant la liberté de l'industrie pétrolifère, les seuls terrains de Balakhany et de Sabountchi donnèrent : en 1873, 64.700 tonnes ; en 1874, 69.650 tonnes et en 1875, 95.250 tonnes.

La promulgation de la loi sur la liberté de l'industrie pétrolifère ne provoqua pas seulement le rapide développement de la production du pétrole, mais eut aussi pour conséquence la fondation d'une multitude de distilleries pour huiles d'éclairage.

L'apparition, l'une après l'autre, de nouvelles et abondantes fontaines jaillissantes a fait perdre aux industriels toute espérance de hausse des prix du pétrole, malgré l'abondance des demandes. Sur le marché de Bakou, il y avait toujours beaucoup plus de matières brutes que n'en pouvaient traiter les distilleries et, déjà

en 1875, quand la production du pétrole ne dépassait pas 100.000 tonnes, éclata à Bakou une crise commerciale, à la suite de laquelle beaucoup d'usines de distillation du pétrole durent être fermées. Le gouvernement, après avoir étudié les difficultés qui entravaient le développement progressif de l'industrie du pétrole, décida, en 1877, d'abolir l'accise sur le photogène.

Cette mesure donna un élan formidable à l'industrie pétrolifère, et la production du pétrole s'accrut à un tel point (en 1887 furent produits : 2.735.000 tonnes de pétrole et 590.000 tonnes d'huile d'éclairage) que le gouvernement, pour augmenter les revenus de l'État, crut possible d'introduire à nouveau, en 1888, une accise modérée sur les huiles d'éclairage extraites du pétrole. Cet impôt, de 6r,10 par 100 kilogrammes pour les huiles légères et 4r,57 par 100 kilogrammes pour les huiles lourdes et par suite moins dangereuses, n'a exercé aucune influence défavorable sur l'industrie déjà solidement enracinée, et la production des huiles d'éclairage a atteint, en 1890, le chiffre de 1.146.600 tonnes, soit une augmentation de 50 p. 100 sur l'année 1887. Par la loi du 1er décembre 1892, l'accise sur les huiles d'éclairage a été élevée : pour les huiles légères à 9r,15 et pour les huiles lourdes à 7r,62 par 100 kilogrammes. Les impôts sur les produits du pétrole ont donné à l'État, en 1890, 26.250.000 francs.

Quoique la loi de 1872, qui avait accordé la liberté de l'industrie pétrolifère, eût produit de très bons résultats, cependant la pratique d'une vingtaine d'années a montré qu'elle présentait des lacunes et que des changements étaient indispensables, tant dans l'intérêt de l'État que dans celui des fabricants des produits du pétrole eux-mêmes. C'est à cet effet qu'a eu lieu la revision de la loi sur l'industrie du pétrole ; une nouvelle loi a été promulguée le 3 juin 1892. Sans déroger à l'ancien principe de

la liberté de l'industrie, le nouveau règlement accorde certaines faveurs à ceux qui découvrent de nouveaux terrains pétrolifères, facilite les conditions d'exploitation des terrains pétrolifères appartenant à l'État, aplanit les difficultés suscitées par la pose des conduites de pétrole (pipe-lines) dans les terres appartenant à l'État ou à des particuliers, précise les mesures pour garantir les établissements industriels contre l'incendie, légalise les mesures de protection mutuelle contre les dangers d'empiètement des voisins et d'exploitation irrégulière des terrains pétrolifères et donne une organisation fixe aux congrès périodiques des représentants de l'industrie pétrolifère dans le but de discuter les questions d'intérêt général de leur industrie.

Le tableau suivant montre la marche du développement de la production du pétrole et de son traitement dans les dix dernières années :

ANNÉES	PÉTROLE (*)	HUILES d'éclairage	BENZINE	HUILES de graissage
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1882	827.317	269.087	»	29.181
1883	988.958	231.702	812	49.864
1884	1.477.964	333.178	2.473	55.794
1885	1.904.321	559.347	673	48.548
1886	1.972.331	619.175	1.005	39.744
1887	2.733.310	755.260	3.968	65.577
1888	3.183.321	853.736	2.361	60.826
1889	3.310.856	1.064.573	1.820	51.719
1890	3.979.384	1.146.172	2.046	88.026
1891	4.756.417	1.086.001	?	?

(*) Une tonne de pétrole d'une densité de 0,870 correspond à 301 1/2 gallons américains.

Ainsi donc, pendant les dix dernières années, la production du pétrole est devenue près de six fois plus considérable et la fabrication des huiles d'éclairage plus de quatre fois plus considérable.

Le tableau ci-dessous donne la répartition de la pro-

duction du pétrole par gouvernements et provinces dans le cours des deux dernières années :

PROVINCES	PRODUCTION DU PÉTROLE	
	1890	1891
	tonnes.	tonnes.
Gouvernement de Bakou	3.937.440	4.727.238
Province de Kouban	29.702	17.933
— Transcaspienne	4.668	2.949
— du Terek	6.075	7.384
Gouvernement de Tiflis	761	674
Province du Daghestan	46	7
Gouvernement de la Tauride	478	337
— d'Elisabetpol	180	—
Province du Fergau	34	75
Totaux	3.979.384	4.756.617

Les chiffres de ce tableau nous montrent que, parmi les centres de production du pétrole, la première place est occupée par le gouvernement de Bakou et particulièrement par la presqu'île d'Apchéron, qui livre les 99 p. 100 de la production totale. Il y a donc lieu de considérer tout particulièrement les données concernant cette région pétrolifère.

La presqu'île d'Apchéron présente un terrain ondulé, quoiqu'en général assez bas ; elle est sillonée par quelques vallées peu profondes, mais assez larges et parfois sans débouché. Elle est recouverte, sur presque toute sa surface, de sables fins et par places de terrains salifères, de lacs salins et de volcans boueux. La presqu'île est formée exclusivement de sédiments post-tertiaires et tertiaires, dont les plus anciens sont les marnes et les schistes de l'éocène supérieur. La stratification des couches est disloquée, et les directions des principales lignes de rupture sont : N.-O.—S.-E. et N.-E.—S.-O. Les sources naturelles de pétrole se présentent, dans le plus grand nombre des cas, sur les pentes et les faites des plis anticlinaux, ou dans les vallées étroites et profondes des fentes anticlinales.

Le pétrole se trouve dans les couches de sédiments oligocènes et se concentre principalement dans les sables et les grès friables. La puissance totale de l'étage pétrolifère de l'oligocène est d'au moins 1.700 à 2.150 mètres, et la couche de sables et de grès contenant le pétrole est de près de 320 mètres.

Les qualités du pétrole de la presqu'île d'Apchéron sont très variables, depuis les masses visqueuses noires, d'une densité 0,96, jusqu'au liquide très mobile, d'un jaune clair et d'une densité 0,785. Le pétrole le plus ordinaire et qui constitue principalement le produit des exploitations, est un liquide épais, huileux, brun foncé ou noir verdâtre, d'une densité variant entre 0,850 et 0,885, d'une odeur particulière, très caractéristique et présentant les phénomènes du dichroïsme et de la fluorescence.

Au point de vue de la composition chimique, le pétrole de Bakou présente un mélange de différents carbures d'hydrogène, dont la plupart appartiennent à la série de la formule C^nH^{2n}, les naphtènes, identiques par leurs réactions aux carbures hydroaromatiques.

La distillation complète du pétrole des terrains de Balakhany et de Sabountchi, sans décomposition de matières (cracking), donne les produits suivants :

	p. 100.
Huiles légères (benzine, gazoline)	5 à 7
Huile d'éclairage ordinaire (kérosine)	27 à 30
Huile d'éclairage lourde (huile solaire)	13 à 15
Huiles de graissage : pour filatures	7
— pour machines	18 à 25
— pour cylindres	2 à 5
Vaseline	1

Quand on traite le pétrole spécialement pour la production de l'huile d'éclairage ordinaire (kérosine), on obtient :

	p. 100.
Huile d'éclairage ordinaire (kérosine)	35
Résidus (ostatkis)	55
Huiles légères et pertes	10

Le pouvoir calorifique du pétrole est en moyenne de 11.370 calories; la teneur en cendres ne dépasse pas 0,09 p. 100.

L'exploitation du pétrole se fait au moyen de sondages; le sondage le plus usité est celui à la tige avec des trépans à chute libre; quant au sondage à la corde, les conditions du travail lui sont défavorables, aussi n'est-il employé que fort rarement.

En 1891, sur cent soixante-treize concessions du gouvernement de Bakou, on avait en exploitation quatre cent soixante-deux sondages, de sorte que la production moyenne de chaque trou de sonde était de 10.231 tonnes de pétrole. On remarque qu'en somme la production des sondages baisse et que la profondeur des nouveaux trous de sonde augmente. En 1881, la profondeur moyenne des sondages ne dépassait pas 128 mètres, tandis que, pour l'année 1891, la profondeur des sondages exécutés est montée à 228 mètres.

De grandes quantités de pétrole sont projetées par les fontaines jaillissantes. Pendant les dernières années on a obtenu par ces fontaines jaillissantes :

	Pétrole des fontaines jaillissantes.	Par rapport à la production totale.
	tonnes.	p. 100.
En 1887	1.100.000	42
En 1888	1.200.000	40
En 1889	700.000	22
En 1890	800.000	22
En 1891	650.000	10

On conserve le pétrole sur les lieux de son exploitation dans différents genres de dépôts : les plus répandus sont

les magasins en terre battue ou en pierre, d'une capacité totale de 180.000 tonnes; les réservoirs en tôle ne contiennent que 80.000 tonnes. En général, les provisions de pétrole, à Bakou, ne sont pas considérables et dépassent rarement 150.000 à 160.000 tonnes.

Les distilleries de Bakou reçoivent leur pétrole au moyen de vingt-cinq conduites (pipe-lines) d'une longueur totale de 277 kilomètres, qui peuvent livrer journellement jusqu'à 25.000 tonnes.

En 1891, la distillation du pétrole avait lieu dans 150 usines, dont 118 se trouvaient dans les environs de Bakou et les autres dans différents endroits de l'Empire. A Bakou, le nombre des petits établissements est de 103 et celui des grands de 15; ces derniers ont donné les trois quarts de toute la production. La société la plus importante pour le traitement du pétrole est celle des frères Nobel, qui a livré, en 1891, 307.850 tonnes de produits de pétrole (281.050 tonnes d'huile d'éclairage et 26.800 tonnes d'huile de graissage).

Le nombre des ouvriers employés dans l'industrie pétrolifère était : dans les exploitations, 7.206; dans les distilleries, 4.693, au total 11.899 ouvriers.

Les huiles d'éclairage, celles de graissage et les autres produits du traitement du pétrole à Bakou s'écoulent principalement à l'intérieur de l'Empire; elles sont transportées par la mer Caspienne à Astrakhan, dans des bateaux-citernes, et de là dans des barques-citernes, en remontant le Volga, et puis par chemin de fer dans des wagons-citernes, qui déposent la marchandise sur les lieux de consommation. Une autre partie des produits de l'industrie pétrolifère de Bakou est dirigée par voie ferrée à Batoum, où on les charge dans des bateaux-citernes pour les déposer dans les ports de la mer Noire et de la mer d'Azov, ou pour les expédier à l'étranger.

Avant de sortir de Bakou, les huiles d'éclairage sont soumises par des agents du gouvernement, par mesure de sécurité publique, à un essai d'inflammabilité ; en vertu de la loi du 8 mars 1886, toute huile dont le point d'inflammation est au-dessous de 28° centigrade (appareil d'Abel Pensky) est envisagé comme produit dangereux dont la vente est soumise à certaines conditions de sécurité.

Tenant compte des chiffres relatifs à la production des huiles d'éclairage, aux stocks, ainsi qu'à l'importation et à l'exportation de ces produits, nous trouvons qu'en 1891 la consommation intérieure a été de 481.900 tonnes. En admettant que le nombre des habitants de la Russie, pour l'année 1891, était de 117 millions, on arrive à une consommation de 4 kilogrammes par tête.

A côté de l'éclairage, le pétrole joue également un rôle important dans l'économie nationale pour le chauffage. Les chaudières des exploitations de pétrole ne marchent évidemment qu'au pétrole même ; il a été consommé pour cet usage, en 1891, 230.000 tonnes. Les résidus de pétrole, les *ostatkis*, qu'on obtient en quantités énormes, sont consommés en grande partie en Russie ; on n'en exporte que de petites quantités. Si l'on en consomme une certaine quantité dans les distilleries mêmes, la plus grosse part est cependant écoulée sur les marchés intérieurs pour servir de combustible. Tous les bateaux de la mer Caspienne et la plupart de ceux qui circulent sur le Volga et ses affluents, sont chauffés maintenant aux résidus de pétrole ; la quantité de ce produit, consommée à cet usage, atteint 950.000 tonnes.

Pour ce qui concerne le chauffage au pétrole des locomotives, on possède des données très exactes. On peut juger des avantages de ce système de chauffage par les chiffres toujours croissants des quantités consommées. Voici les données, publiées par le ministère des voies de

communication, relatives aux quantités consommées par les chemins de fer :

1882.	2.161 tonnes	1887.	110.418 tonnes
1883.	28.180 —	1888.	142.630 —
1884.	63.672 —	1889.	212.843 —
1885.	82.599 —	1890.	289.182 —
1886.	94.816 —	1891.	334.048 —

Ajoutons que, dans ces derniers temps, les résidus du pétrole sont aussi consommés dans beaucoup d'établissements industriels, situés le long du cours du Volga et même dans les gouvernements du Centre de la Russie. Là le pétrole ne sert pas seulement au chauffage des chaudières, mais aussi pour le traitement du fer. Au Caucase, les résidus du pétrole sont employés aussi pour la production du cuivre. D'après les données du ministère des finances, la quantité totale de pétrole consommée annuellement par divers établissements industriels en Russie est de 300.000 tonnes. L'exportation des résidus du pétrole de Bakou était : en 1889 de 1.455.960 tonnes, en 1890 de 1.587.320 tonnes et en 1891 de 1.694.120 tonnes. De toute cette quantité, il n'en a été dirigé sur Batoum qu'une quantité insignifiante (140.000 tonnes en 1891) ; la grande masse (1.554.150 tonnes en 1891) a trouvé un écoulement dans l'intérieur de l'Empire, principalement comme combustible ; une petite quantité seulement a été employée comme matière première pour la fabrication d'autres produits.

Au point de vue du commerce extérieur des produits de l'industrie pétrolifère, l'importation des huiles d'éclairage, qui était, en 1873, de 50.000 tonnes, a commencé dès cette époque à baisser progressivement, surtout depuis l'année 1882, et, dans les dix dernières années, les chiffres de l'importation sont des plus minimes, comme le montre le tableau suivant :

ANNÉES	HUILES d'éclairage	PÉTROLE brut	ANNÉES	HUILES d'éclairage	PÉTROLE brut
	tonnes	tonnes		tonnes	tonnes
1882	16.909	255	1887	216	1
1883	6.377	314	1888	187	2
1884	2.975	231	1889	265	2
1885	1.934	25	1890	247	0,2
1886	667	1	1891	325	10

La suspension presque complète de l'importation des huiles d'éclairage de provenance américaine s'explique facilement par le développement de la fabrication des produits du pétrole, surtout des huiles d'éclairage, livrées par les usines en quantités qui surpassent les besoins de la consommation intérieure.

En même temps, pour les dix dernières années, l'exportation des produits du pétrole a pris un grand développement, comme on peut le voir dans le tableau suivant :

ANNÉES	PÉTROLE brut	HUILES d'éclairage	HUILES DE GRAISSAGE		RÉSIDUS de pétrole (ostatkis)
			purifiées	non purifiées	
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1882	1.835	3.746	5.358	6.162	1.269
1883	4.647	24.467	7.441	20.749	989
1884	9.874	64.683	9.907	13.972	7.399
1885	18.498	119.074	10.618	24.413	3.410
1886	20.602	150 619	12.716	23.787	36.916
1887	17.659	193.603	18.618	27.263	53.754
1888	4.904	418.211	24.827	20.993	73.304
1889	3.680	573.126	25.025	31.564	100.401
1890	12.460	651.387	56.241	18.570	48.947
1891	14.244	739.154	64.802	18.082	51.872

Les chiffres de ce tableau nous montrent toute l'importance des produits du pétrole pour les relations commerciales de la Russie, ainsi que pour ses besoins intérieurs; en effet, en 1873 (année de la plus grande importation des produits du pétrole en Russie), la Russie déboursa à l'étranger plus de 26.250.000 francs pour les huiles d'éclairage et le pétrole brut importés, tandis

qu'en 1891, la quantité exportée des différents produits du pétrole correspondait déjà à 76.250.000 francs.

De tous les produits du pétrole fabriqués en Russie, celui qui a acquis la plus grande importance, c'est l'huile d'éclairage, dont l'exportation qui était, en 1881, de 2.205 tonnes a atteint, en 1891, 739.154 tonnes, soit les 68 p. 100 de la production totale. L'exportation des huiles de graissage, qui était, en 1881, de 9.582 tonnes, a atteint, en 1891, 82.883 tonnes. Nous devons remarquer qu'auparavant on exportait principalement des huiles de graissage non purifiées, tandis que, dans les dernières années, on a commencé à préférer les qualités purifiées et, en 1891, cette dernière sorte d'huiles formait déjà les 80 p. 100 de la quantité totale dirigée sur les marchés étrangers.

Il n'est pas dépourvu d'intérêt de jeter un coup d'œil sur la répartition des différents produits du pétrole fabriqués en Russie entre les divers pays étrangers :

PAYS DE DESTINATION	HUILES D'ÉCLAIRAGE et benzine			HUILES DE GRAISSAGE						RÉSIDUS DU PÉTROLE (ostatkis)		
				purifiées			non purifiées					
	1889	1890	1891	1889	1890	1891	1889	1890	1891	1889	1890	1891
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Angleterre	112.463	128.125	100.203	1.253	9.606	4.119	3.799	2.561	2.670	7.780	9.433	12.966
Autriche-Hongrie	65.678	95.516	151.486	1.190	2.456	1.808	1.425	431	821	73.130	14.532	18.369
Allemagne	45.586	30.734	22.199	4.442	12.286	15.944	9.063	4.888	6.414	6.908	3.258	1.166
France	745	2.475	1.538	8.173	11.021	7.876	8.030	4.323	3.545	3.876	7.693	4.851
Italie	33.452	42.611	35.149	433	1.309	508	549	120	—	469	701	—
Belgique	30.163	17.833	31.774	4.538	14.278	24.394	2.031	1.373	1.483	5.684	9.935	8.871
Hollande	8.810	7.086	3.344	2.918	679	1.392	3.453	2.681	1.429	—	370	887
Roumanie	8.629	—	—	460	105	1.160	1.530	578	137	—	—	—
Espagne	8.509	—	—	—	1.127	—	—	212	—	—	786	—
Danemark	7.663	5.802	5.824	353	298	496	905	808	880	138	428	—
Suède et Norwège	6.772	6.350	5.256	96	164	385	963	286	291	—	—	—
Grèce	756	351	1.766	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Turquie	122.570	125.516	202.031	—	413	2.338	430	—	—	—	—	—
Perse	5.987	5.597	6.679	—	—	—	—	—	—	2.207	1.753	1.745
Inde	85.196	162.383	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Chine	16.712	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Japon	5.401	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Les données de ce tableau nous montrent que les produits du pétrole de fabrication russe trouvent un écoulement non seulement sur les marchés de l'Europe, mais aussi sur ceux de l'Extrême-Orient. Les principaux consommateurs de ces produits sont les pays qui peuvent les importer à bon marché par voie de mer de Batoum (sur les bords de la mer Noire), port qui est relié par un chemin de fer avec Bakou, le grand centre de l'industrie pétrolifère en Russie.

Asphalte.

Le grès et le calcaire asphaltiques sont exploités sur la rive droite du Volga dans le district de Syzrane du gouvernement de Simbirsk; c'est là que sont situées quatre usines pour le traitement de cette matière brute et l'extraction des produits commerciaux : le goudron et le mastic d'asphalte, dont la production annuelle atteint 16.000 tonnes.

Ces mêmes produits, en quantité totale de 1.600 tonnes, s'obtiennent par le traitement du bitume, nommé Kir, au Caucase.

Soufre.

Des gisements de soufre se trouvent sur plusieurs points de la Russie; mais nulle part ils n'ont été explorés en détail. On en trouve sur les bords du Volga, en Pologne, au Caucase et dans les provinces de Fergane et Transcaspienne.

Dans le gouvernement de Kazan, on connaît un gisement de soufre sur le bord du Volga, près du bourg de Sukeev. Le soufre s'y trouve sous forme de nids, d'amas et petites couches, enclavés dans le calcaire du système permien, dont la puissance est de $0^m,60$ à $2^m,15$. La

teneur du minerai de soufre varie de 2 1/2 à 8 p. 100. Une usine, pour la production du soufre, y a existé pendant un moment, mais elle est actuellement fermée.

En Pologne, un gisement de soufre natif se trouve dans le gouvernement de Kielce, près de l'embouchure de la rivière Nida, affluent de la Vistule, non loin du bourg de Tcharkovo. Le soufre s'y trouve disséminé dans les marnes du système tertiaire, dont la puissance varie de 2 à 21 mètres. La répartition du soufre dans la couche est très irrégulière ; dans les parties supérieures, la teneur ne dépasse pas 10 p. 100, tandis que, dans le bas de la couche, elle varie de 25 à 75 p. 100. D'après les recherches exécutées dans ces gisements, les quantités de soufre y sont considérables. Ce gisement approvisionnait une usine, dont la production atteignait 575 tonnes en 1885. Cette usine est actuellement fermée. Dans la même partie du gouvernement de Kielce, des recherches géologiques ont dernièrement fait reconnaître la présence d'un nouveau gisement de soufre.

Au Caucase, la présence du soufre a été constatée dans plusieurs endroits sur les deux versants de la chaîne de montagnes. Dans la province du Daghestan, à une distance de 125 kilomètres de la ville de Petrovsk, située sur la mer Caspienne, près du bourg de Tchirkate dans les montagnes, à une hauteur de 1.370 mètres au-dessus du niveau de la mer, se trouve un gisement de soufre, enclavé dans les roches de l'étage supérieur du système jurassique. Le soufre natif s'y présente sous forme de gros amas noyés dans l'argile ; la teneur en soufre est estimée entre 33 et 35 p. 100. Une mine ouverte sur ce gisement est exploitée très régulièrement par la compagnie Lescanne Perdoux fils et C^ie^. L'usine qui dépend de cette mine a produit, en 1888, 1.300 tonnes de soufre ; pendant les dernières années, la production de cette usine a diminué considérablement.

En dehors du gisement de Tchirkat, on en connaît encore dans plusieurs endroits de la même province du Daghestan, ainsi que dans les gouvernements de Tiflis et d'Erivan.

Dans ces dernières années, on a découvert un gisement très riche de soufre dans la province Transcaspienne, à 265 kilomètres de Geok-Tepé et de Khiva. Au milieu d'une plaine tout à fait unie s'élèvent des collines isolées d'une hauteur de près de 90 mètres ; ces collines renferment, au milieu de marnes, des amas et des filons de grès quartzeux contenant plus de 60 p. 100 de soufre. Le nombre de ces collines est de près de 40 et la quantité de soufre que contient ce gisement est évaluée à 500.000 tonnes ; le pays présente d'ailleurs toutes les conditions pour une production avantageuse du soufre.

Dans la province de Fergan, on connaît aussi un gisement de soufre, et il existe là une usine pour le traitement de ce minerai.

Le tableau suivant donne les chiffres de la production du soufre pour les dix dernières années :

ANNÉES	SOUFRE PRODUIT	ANNÉES	SOUFRE PRODUIT
	tonnes		tonnes
1882	650	1887	1.446
1883	1.161	1888	360
1884	755	1889	95
1885	1.781	1890	161
1886	1.179	1891	336

Une production aussi minime a pour conséquence évidente une importation considérable d'une matière aussi indispensable à tant d'industries. Les chiffres de cette importation sont donnés dans le tableau suivant :

ANNÉES	IMPORTÉ	
	Soufre brut	Soufre épuré et en fleur
	tonnes	tonnes
1887	14.735	1.063
1888	22.332	568
1889	19.097	472
1890	18.428	465
1891	13.466	458

Le soufre à l'état brut est importé d'Italie; en 1890 est arrivée, pour la première fois, une cargaison de soufre des États-Unis d'Amérique.

Le soufre épuré arrive principalement de France.

En vertu des tarifs de douanes de l'année 1891 (art. 91), le soufre paye les droits d'entrée suivants :

1) Soufre brut, non épuré, en morceaux :

a) Importé par les ports de la mer Baltique, par ceux de la mer Blanche et par la frontière de terre occidentale
2 cop. par poud = 0f,48 par 100kg

b) Importé par les ports de la mer Noire et de la mer d'Azov
5 cop. par poud = 1f,22 par 100kg

2) Soufre épuré et fleur de soufre
20 cop. par poud = 4f,88 par 100kg

Graphite.

Les premiers renseignements sur la présence du graphite en Russie datent de 1826. Des gisements de graphite sont connus dans diverses parties de la Russie d'Europe et de la Russie d'Asie; il n'y a eu d'exploitation jusqu'ici que dans les steppes des Kirghiz, dans la Sibérie orientale et la Finlande; les gisements de la Sibérie orientale sont les plus remarquables.

En 1856, un marchand finlandais, M. Alibert, commença l'exploitation du graphite dans le gouvernement d'Irkoutsk, où se trouve un gisement contenant un graphite de qualité très supérieure. Ce graphite a alimenté,

pendant un certain temps, la fabrique de crayons si renommée de M. Faber. Dans le gouvernement d'Irkoutsk, l'exploitation du graphite ne se fait plus que sur une très petite échelle, et seulement pour les besoins de la fonderie d'or d'Irkoutsk, pour sa fabrication de creusets.

De grands gisements de graphite de la plus belle qualité ont été découverts, en 1860, par un marchand, M. Sidoroff, dans le Nord du gouvernement d'Iéniseïsk, le long des rivières Nijnaya-Toungouska et Koureika, affluent du fleuve Ienissey. Dans ces gisements, la masse de graphite a été évaluée à 165.000 tonnes. Les excellentes qualités du graphite provenant de ces gisements, ont été constatées par l'usine de canons à Perm, ainsi qu'à Saint-Pétersbourg et à Londres, où l'on a envoyé une cargaison de ce produit par l'Océan glacial.

En 1891, une société créée pour l'exploitation des gisements de la Nijnaya-Toungouska, en a extrait 164 tonnes de graphite.

En général l'exploitation du graphite, en Russie, est très irrégulière et chôme souvent pendant des années. D'après les données statistiques officielles, la plus grosse production de graphite, 303 tonnes, a été réalisée en 1875.

Le tarif des douanes de 1891 (art. 71) précise les droits d'entrée pour le graphite, comme il suit :

1) Graphite en morceaux. . 8 cop. par poud = 1f,95 par 100kg
2) Graphite en poudre . . . 30 cop. par poud = 7f,32 par 100kg

Phosphorites.

Les phosphorites sont connues dans plusieurs endroits en Russie, mais l'exploitation de ce minéral n'a lieu que dans les gouvernements de Podolie, de Bessarabie, de Koursk et de Kostroma.

En Bessarabie et en Podolie, les exploitations des phosphorites ont lieu le long des bords du Dniester et de ses affluents. Les phosphorites s'y trouvent dans les

schistes du système silurien et affectent la forme de boules régulières d'un diamètre de 1,5 à 18 centimètres. De nombreuses analyses exécutées par des chimistes autrichiens, il résulte que les phosphorites de la contrée du Dniester, par leur teneur en phosphate de chaux, de 70 à 75 p. 100 (ce qui correspond à 30 à 35 p. 100 d'acide phosphorique), sont plus riches que ceux d'autres gisements.

Les gisements les plus importants en Russie par leur étendue sont les phosphorites des couches du système crétacé ; ces phosphorites, appelées vulgairement *les natifs* (*samorod*, en russe), se composent de sable cimenté par du phosphate et du carbonate de chaux. Dans la Russie centrale les gisements de ces phosphorites se présentent en forme de bandes qui suivent les sinuosités de la limite Nord des sédiments crétacés. Les gisements les plus riches se trouvent dans les gouvernements de Smolensk, de Koursk, Orel et Voronéj ; la longueur de cette bande est de plus de 640 kilomètres, sur une largeur de 160. La teneur en acide phosphorique varie de 13 à 27 p. 100.

Dans le gouvernement de Kostroma, les phosphorites contiennent de 22 à 26 p. 100 d'acide phosphorique.

Il n'existe point de données sur l'exploitation des phosphorites en Russie ; nous pouvons seulement constater que leur emploi dans l'intérieur du pays se propage de plus en plus. Les phosphorites russes sont aussi un article d'exportation, ainsi que l'indiquent les quelques chiffres suivants tirés de la statistique douanière :

PHOSPHORITES EXPORTÉES	1887	1888	1889	1890	1891
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Total	7.677	7.346	8.536	11.554	6.834
De ce nombre :					
En Allemagne	»	»	»	»	352
En Autriche-Hongrie	7.677	7.346	8.536	11.554	6.482

En vertu du tarif des douanes de 1891, les phosphorites exportées de la Russie à l'état naturel acquittent un droit de sortie de 12 copeks par poud (2r,93 par 100kg) ; les phosphorites moulues passent à l'étranger en franchise de droits. Pour l'importation, les phosphorites en poudre (art. 41) acquittent un droit d'entrée de 2 copeks par poud (0r,48 par 100kg).

Pierres précieuses, matériaux de construction, etc.

Comme pierres précieuses, on rencontre, en Russie, des diamants, rubis, saphirs, émeraudes, topazes, améthystes, aigues-marines, béryls, grenats, alexandrites, et autres.

Les premiers *diamants* trouvés en Russie, en 1829, proviennent du placer aurifère Krestovozdvigensk, dans la zone moyenne de l'Oural ; plus tard, il en a été trouvé aussi dans d'autres placers au cours du lavage des sables aurifères, mais, en général, les diamants sont rares. Il n'existe pas d'exploitation régulière de diamants, et ce n'est qu'une partie du placer Krestovozdvigensk qui a été exploité pendant un certain temps spécialement pour y trouver des diamants. En somme, on n'y a trouvé que 160 diamants, dont le plus gros ne pesait que 2 15/16 carats. Dans l'Oural on ne connaît aucun gîte primitif de diamants.

Les *saphirs* et les *rubis* se trouvent aussi de temps en temps dans les placers aurifères avec d'autres minéraux plus ou moins rares, comme : l'euclase, la topaze rose, le chrysobéryl, la chrysolite, le zircon, le rutile et autres.

Les *émeraudes* se présentent dans l'Oural dans de tout autres conditions ; leurs gisements sont groupés au Nord-Est d'Ekaterinbourg. Les cristaux d'émeraude, de chrysobéryl et de phénakite, uniques par leur grosseur,

se trouvent principalement dans des micaschistes, qui dépendent des couches de schistes talqueux.

Dans la partie Sud de l'Oural, dans les montagnes d'Ilmensk, on rencontre des *topazes*, *béryls* et *phénakites* de belle qualité. Ces minéraux se trouvent aussi dans les gisements de Moursinka, situés au nord-est d'Ekaterinbourg. Les topazes et les béryls de Moursinka sont connus de tous les minéralogistes. C'est là que fut trouvé le fameux béryl, qui mesure 27 centimètres de longueur et 30 de circonférence, et qui est exposé dans le musée de l'école des mines de Saint-Pétersbourg. Les topazes, aigues-marines et béryls se trouvent aussi dans les montagnes de Nertchinsk, dans la Sibérie orientale. Dans un des placers de ce pays a été trouvé une des plus grosses topazes.

Le *grenat* se rencontre très souvent dans l'Oural. On y connaît des variétés d'une couleur verdâtre; s'ils contiennent un peu de chrome, leur couleur prend une teinte vert émeraude; leur éclat est brillant; ayant une teinte autre que les émeraudes et un éclat plus brillant, cette qualité de grenat surpasse en beauté les émeraudes véritables.

Le *cristal de roche* et les *améthystes* se trouvent en beaucoup d'endroits de l'Oural et des montagnes de Sibérie.

Les richesses de l'Oural en pierres fines ont déjà depuis longtemps attiré l'attention sur cette contrée à ce point de vue et l'industrie de la taille de pierres y date de 1755, année où le gouvernement fonda à Ekaterinbourg le premier atelier pour la taille de pierres précieuses. La plupart des ouvriers libres de cette fabrique (dont la production pendant ces derniers temps n'a été que faible) s'occupent de la taille des pierres fines et du polissage de divers minéraux et roches qu'on trouve dans l'Oural; cette industrie privée s'est développée

graduellement jusqu'à atteindre d'assez grandes proportions; elle est toujours restée entre les mains de petits artisans, qui travaillent pour leur propre compte.

L'*ambre* se trouve dans les gouvernements de Grodno, Kiev, Minsk et Kherson, ainsi qu'en Courlande et en Volhynie. Il est aussi rejeté par les vagues de la Baltique, près de Libau et dans l'Océan Boréal, près des embouchures des fleuves Petchora et Mezen.

Si nous passons maintenant aux minéraux qui ont un intérêt pratique et se présentent sous forme de roches et de masses plus ou moins importantes, nous trouvons les minéraux suivants :

Le *lapis-lazuli* (lazulite) est connu en plusieurs endroits dans les montagnes près du lac Baïkal en Sibérie orientale.

La *malachite* se rencontre très souvent dans l'Oural avec d'autres minerais de cuivre et quelquefois en blocs énormes. Au musée de l'école des mines à Saint-Pétersbourg, on peut voir un bloc de malachite d'un poids de 1.480 kilogrammes et qui ne représente qu'une partie du bloc primitif du poids total de 2.785 kilogrammes.

Le *labrador* se trouve dans le gouvernement de Kiev et en Volhynie, en masses considérables au milieu des granites. Le labrador est employé comme ornement pour des édifices et aussi comme pierre fine pour la bijouterie et les objets d'art.

Le *granite* est connu en abondance dans le Sud, comme dans le Nord de la Russie, mais une exploitation régulière et permanente de cette roche n'a eu lieu que sur peu de points. A Saint-Pétersbourg, on en reçoit deux qualités : le granite rouge, nommé granite de Viborg (le *rappakivi* des Finnois), qui vient de Finlande, de la côte du golfe de Finlande entre les villes de Viborg et de Borgo, et le granite gris ou de Serdobol, qu'on exploite principalement dans les envi-

rons de la ville de Serdobol, située sur la rive Nord du lac Ladoga. Le granite de Viborg, de nature porphyroïde, est employé en grande quantité à Saint-Pétersbourg : tous les quais de la Néva et des canaux, les soubassements de beaucoup d'édifices, le port de Cronstadt et les fortifications de cette ville sont construits avec cette pierre. Les colonnades de la cathédrale de Saint-Isaac sont particulièrement remarquables : ce sont des monolithes de « rappakivi ». La colonne de l'empereur Alexandre Ier, est un beau monolithe de la même roche, qui a 24 mètres de hauteur et un diamètre de 3m,6.

Outre le granite exploité dans des carrières, on emploie aussi en grande quantité le granite provenant des blocs erratiques, qu'on trouve abondamment répandus à la surface du sol dans la Russie du Nord et du Centre; dans le Nord surtout, les blocs erratiques atteignent des dimensions colossales; le bloc qui sert de piédestal au monument de Pierre le Grand à Saint-Pétersbourg est précisément d'origine erratique. Le granite est très employé pour le pavage des rues dans les villes, ainsi que pour la construction des chaussées.

Le granite de Serdobol est d'un gris foncé, à grain fin, très dur; il se travaille difficilement; on l'emploie dans le cas d'ornementations architecturales; ainsi les grandes cariatides de la façade du palais de l'Ermitage à Saint-Pétersbourg sont taillées dans des blocs de granite de cette provenance.

Dans le Sud de la Russie, le granite est très répandu dans les gouvernements d'Ekaterinoslav et de Poltava, en Podolie, Bessarabie et Volhynie, ainsi que dans la Tauride. Dans le gouvernement de Voronéj, les carrières de granite se trouvent sur les bords du Don.

Les gisements de *porphyre* les plus remarquables sont ceux de l'île Hohlande, dans le golfe de Finlande, et ceux des monts Altaï dans la Sibérie occidentale.

Les *jaspes* se rencontrent dans les monts Ourals et dans ceux de l'Altaï. La plupart des gisements de jaspes sont situés sur le versant Est de l'Oural méridional; le plus beau de ces jaspes est celui de Kalkansk. Dans les monts Altaï, on connaît beaucoup de gisements de jaspes de différentes qualités; l'atelier de taille de Kolyvan a fabriqué avec ces jaspes des objets de grandes dimensions : tel est, par exemple, le grand vase ovale du musée de l'Ermitage; le diamètre de ce vase est de près de 6 mètres.

Les gisements de *marbres* sont nombreux en Russie, mais ils ne sont exploités qu'en peu d'endroits. Des carrières de marbres se trouvent en Finlande, dans le gouvernement d'Olonetz, dans l'Oural et en Pologne.

Sur le versant Est de l'Oural, près d'Ekaterinbourg, on rencontre un marbre blanc, qu'on peut extraire en blocs atteignant jusqu'à deux mètres de longueur. On y trouve des variétés de marbres qui ne le cèdent en rien aux fameux marbres de Carrare et qui même les surpassent.

Dans le gouvernement d'Olonetz, les carrières de Tivdia jouissent d'une grande renommée; elles ont été ouvertes sous le règne de l'impératrice Catherine II et exploitées pour les besoins de l'architecture; beaucoup de monuments de Saint-Pétersbourg sont ornés de ces marbres et entre autres la cathédrale de Saint-Isaac.

En Finlande existent les carrières de Rouskiala.

En Pologne, des gisements de marbre existent dans les environs de Kielce et de Henziny; ces marbres sont d'une grande variété de couleurs et de dessins. L'exploitation de ces carrières remonte déjà au XVIe siècle. Dans les environs de la ville d'Olkouche, à une distance de douze kilomètres de la frontière autrichienne, on connaît un gisement de marbre noir qui était exploité déjà au XVIIe siècle. L'autel de la cathédrale de Saint-Étienne, à Vienne, est fait avec ce marbre.

Il existe en Russie beaucoup de carrières, où l'on

exploite des calcaires qu'on emploie en guise de marbre ; il en est ainsi, par exemple, dans les environs de Moscou. La carrière de Miatchkovo y est particulièrement connue ; cette carrière livre en gros blocs un calcaire qui se distingue par sa blancheur, son homogénéité et sa pureté ; grâce à sa faible dureté, il se prête facilement à la taille et est employé pour la confection des ornements architecturaux.

Les calcaires du terrain tertiaire sont très abondants dans le Sud de la Russie ; quelques villes, comme par exemple Odessa, sont entièrement construites avec cette pierre, qui est très tendre et se laisse scier facilement ; avec le temps elle sèche et durcit.

Les *marnes*, propres à la fabrication des ciments hydrauliques, se trouvent en grandes masses dans le gouvernement de Saint-Pétersbourg et en Esthonie. Il existe aussi de ces marnes près de la ville de Novorossiisk, au bord Est de la mer Noire ; elles se distinguent par de remarquables qualités qui les font employer beaucoup pour la fabrication des ciments.

Les *quartzites* (grès quartzeux) sont aussi connus dans divers endroits de la Russie. Ils abondent surtout dans le gouvernement d'Olonetz, où le quartzite de Chokcha présente un intérêt particulier. C'est de là que vient le bloc dont l'empereur Nicolas I^er^ a fait présent pour en faire le sarcophage de Napoléon I^er^, qui se trouve à l'hôtel des Invalides, à Paris.

Dans les environs de Moscou, on trouve également des grès quartzeux qu'on utilise pour les constructions et aussi pour les meules de moulins.

Les grès à meules existent aussi dans l'Oural, dans les gouvernements de Koursk, Kharkov, Saratov, en Pologne et dans d'autres endroits.

Les *pierres à aiguiser* s'exploitent dans les gouvernements de Vologda, d'Oufa et d'Ekaterinoslav.

La *pierre lithographique* est connue dans les gouvernements de Perm et en Podolie.

L'*ardoise* est connue au Nord de la Russie dans le gouvernement d'Olonetz, au Sud de la Russie près de Krivoï-Rog, sur les frontières des gouvernements de Kherson et d'Ekaterinoslav, et aussi au Caucase.

L'*asbeste* et le *talc* se trouvent dans plusieurs endroits de la Russie d'Europe et de la Sibérie. Dans l'Oural, l'asbeste est exploité maintenant principalement dans les environs d'Ekaterinbourg ; en 1891 on a exploité environ 1.200 tonnes de ce minéral.

Les gisements de *gypse* sont très répandus partout où apparaissent les couches du système permien dans la partie Est de la Russie d'Europe ; ils se trouvent aussi dans la même formation dans le gouvernement d'Ekaterinoslav. Les gypses du système dévonien sont connus dans les gouvernements de Pskov, Vitebsk et en Livlande. Les gypses se trouvent dans des formations plus récentes dans le gouvernement de Poltava, en Podolie et en Pologne.

La *craie* est exploitée en grandes quantités dans les gouvernements de Simbirsk, Kharkov, Vilna et autres.

Parmi les nombreuses variétés d'argiles connues dans tous les gouvernements de la Russie et se trouvant dans toutes les formations géologiques, il n'y a que le kaolin, l'argile pour faïence et l'argile réfractaire, qui présentent un réel intérêt industriel.

Le *kaolin* est connu dans plusieurs localités du Sud de la Russie, où il est produit par la décomposition de certains granites et gneiss. De grands amas de kaolin se trouvent dans les gouvernements d'Ekaterinoslav, Kiev, Kherson, Tchernigov et en Volhynie. Au centre de la Russie, à cinquante kilomètres de Moscou, sont connus et exploités depuis longtemps les gisements d'argile pour faïence de Gjelsk. Les argiles réfractaires s'exploitent

en beaucoup d'endroits de la Russie. Les argiles du système carbonifère, qu'on exploite en grand dans les gouvernements de Novgorod, Tver et Toula, sont particulièrement intéressantes. On exploite aussi des argiles réfractaires dans les gouvernements de Wladimir et d'Olonetz, dans le bassin houiller du Donetz, dans la partie occidentale du gouvernement d'Ekaterinoslav, en Pologne et en Sibérie.

D'après les données de 1890, où ne figurent que les carrières et les exploitations de pierres soumises à la surveillance de l'administration des mines, le nombre des ouvriers employés pour ces travaux, était :

Pour l'exploitation du kaolin	760	ouvriers.
— des argiles réfractaires	1.318	—
Dans les carrières	16.443	—
Total	18.521	ouvriers.

Sources thermales.

En vertu de la loi du 19 février 1885 pour la protection des sources thermales, on institue un périmètre de protection pour toutes les sources qui sont reconnues comme ayant une utilité publique. Il est, dès lors, interdit aux propriétaires de ces terrains d'entreprendre aucun travail de terrassement dans toute l'étendue de ce périmètre sans autorisation spéciale de l'administration des mines.

Les sources thermales de la Russie qui sont soumises à la loi de 1885 sont les suivantes :

Dans la partie Nord de la Russie, les sources de Staraia-Roussa dans le gouvernement de Novgorod ; de Khilovo dans le gouvernement de Pskov et de Kachine dans le gouvernement de Tver ;

Dans la zone moyenne, les sources de Lipetzk dans le gouvernement de Tambov ;

Dans la Russie occidentale, celles de Kemmern dans la Livlande, de Baldone en Courlande, et de Drouskeniki dans le gouvernement de Grodno ;

En Pologne, celles de Zekhozinek, dans le gouvernement de Varsovie, et de Bousk, dans celui de Kielce ;

Dans la Russie orientale, celles de Serguievsk et de Stolipine, dans le gouvernement de Samara ;

Dans le sud de la Russie, celles de Slaviansk, dans le gouvernement de Kharkov, de Saki et de Tchokrak, dans celui de la Tauride ;

Au Caucase, les quatre groupes de sources thermales dites « du Caucase » dans la province du Terek ; les sources de Podkoumsk, dans le gouvernement de Stavropol, de Borgeome et d'Abass-Toumane, dans celui de Tiflis.

De toutes ces sources, sans contredit, les plus importantes sont celles des quatre groupes « du Caucase », situées près de la ville de Piatigorsk.

Ces quatre groupes sont :

A Kislovodsk, situé à une hauteur de 760 mètres au-dessus du niveau de la mer, se trouve une seule source, la fameuse source Narzane, dont la température est de 15° centigrades.

A Essentouki, les sources thermales se trouvent à une hauteur de 565 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces sources forment deux groupes de différente qualité : le groupe alcalino-salin et le groupe alcalino-sulfureux.

La source n° 17 jouit d'une réputation particulière.

Les sources sulfureuses de Piatigorsk sont situées aux environs et dans la ville même de Piatigorsk. Ici, comme à Essentouki, on a toute une série de sources sulfureuses, d'une température de 29 à 59° centigrades.

Les sources thermales de Géleznovodsk apppartiennent à la catégorie des sources alcalino-ferrugineuses :

elles sont en partie chaudes (jusqu'à 50°) et en partie froides. Le nombre des sources est de douze.

Tous ces groupes appartiennent à l'État, et le gouvernement pendant les dernières années a dépensé 2.125.000 francs pour leur amélioration.

Les sources thermales, sauf celles du Caucase mentionnées ci-dessus, appartiennent aux catégories suivantes :

Salines. — Les sources de Staraia-Roussa, de Drouskeniki, de Zekhozinek, de Bousk et de Slaviansk.

Sulfureuses. — Les sources de Khilovo, de Kemmern, de Baldone et de Serguievsk.

Alcalines. — Les sources de Borgeome.

Ferrugineuses. — Les sources de Kachine et de Lipezk.

Ferro-salines. — Les sources de Stolipine.

Sans énumérer toutes les autres sources thermales connues dans la Russie d'Europe et au Caucase, nous ajouterons cependant que le Turkestan, les monts Altaï dans la Sibérie occidentale et la province Transbaïkalienne dans la Sibérie orientale possèdent de nombreuses sources thermales de qualités très variées. Les sources de la province Transbaïkalienne jouissent surtout d'une grande renommée. Les eaux du lac Chiro, dans la partie Sud du gouvernement d'Iéniseïsk sont aussi très remarquables par leurs qualités médicales; d'après les études des médecins du pays, les eaux de ce lac, par leur teneur en alcali et en sulfate de soude, ne le cèdent en rien et sont même supérieures aux eaux si connues de Karlsbad, de Marienbad, de Vichy, etc.

APPENDICE.

Pour compléter l'aperçu sur l'industrie minérale de la Russie, nous donnons, dans cet appendice, les chiffres relatifs à la production minérale de l'année 1892. La statistique minérale, ainsi que la statistique du commerce extérieur pour l'année 1892, n'ayant pas encore paru, les chiffres que nous donnons ci-après ne sont que préliminaires et quelque peu incomplets.

Or et Platine.

Les différents districts aurifères ont produit en *or* brut :

L'Ourâl	12.353 kilogr.
La Sibérie occidentale	2.790 —
La Sibérie orientale	27.459 —

La quantité de *platine* extraite dans les mines de l'Oural a été de 4.573 kilogrammes.

Argent et Plomb.

En donnant les chiffres de la production de ces métaux, nous devons remarquer qu'il nous manque la production minérale de la Finlande :

	PRODUCTION EN 1892.	
	Argent.	Plomb.
Caucase	471 kilogr.	162 tonnes.
District minier de l'Altaï	8.055 —	367 —
Steppes des Kirghiz	622 —	232 —
District minier de Nertchinsk	908 —	167 —

Cuivre, Zinc, Mercure, Manganèse.

Les quantités de *cuivre* produites en 1892 ont été :

Dans l'Oural	2.644 tonnes.
Au Caucase	1.696 —
Dans le district minier de l'Altaï	259 —

La production totale en *zinc* brut a été de 4.277 tonnes.

En 1892, il a été extrait 66.907 tonnes de minerais de mercure et produit 343 tonnes de *mercure* métallique.

La production des minerais de *manganèse* a été :

Au Caucase	168.950	tonnes.
Dans l'Oural	819	—
Au gouvernement d'Ekaterinoslav	29.412	—

De la quantité de minerais de manganèse produite au Caucase il a été exporté :

En Angleterre	60.227	tonnes.
En Belgique	5.317	—
En Allemagne	5.434	—
En Hollande	32.182	—
Aux États-Unis de l'Amérique	24.801	—
En France	1.044	—

Fonte, fer et acier.

Nous réunissons dans le tableau ci-dessous les chiffres de la production de la fonte, du fer et de l'acier dans les différentes parties de la Russie :

	FONTE	FER	ACIER
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Usines de l'État	54.350	20.852	2.054
Usines du Cabinet de Sa Majesté	628	1.506	»
Usines privées :			
Oural	433.417	258.389	62.837
Centre de la Russie	106.403	61.337	39.862
Midi	281.732	56 714	140.732
Nord	346	31.810	61.425
Sibérie	4.147	2.694	26
Pologne	148.166	61.635	64.233

Combustibles minéraux.

La production des différents bassins a été la suivante :

Bassin du Donetz	3.563.185	tonnes.
— de Pologne	2.882.769	—
— du Centre	180.537	—
— de l'Oural	242.877	—
— de Kiev-Elisabetgrad	2.031	—
— du Caucase	16.983	—
— des steppes des Kirghiz	1.739	—
— de Kouznetzk	19.543	—
— de l'île Sakhalin	12.718	—
— du Turkestan	?	
— du gouvernement d'Olonetz	3	—

Dans la quantité susmentionnée produite par le bassin du Donetz, il y a eu 2.930.847 tonnes de houille et 632.338 tonnes d'anthracite.

Le bassin de la Pologne a donné 2.855.714 tonnes de houille et 27.055 tonnes de lignite.

Sel.

Les quantités de sel de différentes origines produites, en 1892, ont été :

Sel gemme	270.139	tonnes.
Sel des lacs	689.820	—
Sel sauné	401.734	—

Pétrole.

La production du pétrole brut extrait au Caucase, en 1892, a été de 4.880.417 tonnes, dont la quantité productive a été de 4.693.097 tonnes. Les sources jaillissantes ont, sur ce total, fourni 1.240.819 tonnes de pétrole. En 1892, il y avait en exploitation aux environs de Bakou 448 trous de soude.

La quantité de pétrole brut livrée aux usines a été de 4.226.000 tonnes, avec lesquelles on a produit 1.286.189 tonnes d'huiles d'éclairage et 95.150 tonnes d'huiles de graissage.

Soufre, Graphite.

Il a été produit, en 1892, 388 tonnes de soufre et 82 tonnes de graphite.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Introduction	180
Exposé de l'organisation administrative et législative actuelle des mines en Russie	189
Écoles des mines	197
Or	200
Platine	213
Argent	217
Cuivre	221
Plomb	228
Zinc	231
Étain	233
Mercure	235
Manganèse	237
Cobalt et Nickel	240
Industrie sidérurgique	241
Combustibles minéraux	279
Sel	318
Pétrole	332
Asphalte	349
Soufre	349
Graphite	352
Phosphorites	353
Pierres précieuses, matériaux de construction, etc.	355
Sources thermales	362
Appendice	365

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE

POLOGNE RUSSE

LOI SUR LES MINES
du 28 Avril / 10 Mai 1892

NOTICE ET TRADUCTION

Par M. JULES ICHON, Ingénieur en chef des mines.

Dans une note insérée au *Bulletin* des *Annales* (3e série, tome XV), M. l'ingénieur en chef Aguillon a résumé la loi du 16/28 juin 1870 qui réglait le régime des exploitations de mines dans la Pologne russe, et les oukases de 1887 et 1888 relatifs à la possession des mines dans ce pays par des étrangers.

Le 28 avril (10 mai) 1892, l'empereur a sanctionné une nouvelle loi dont nous donnons ci-dessous la traduction (*).

L'importance de l'industrie minière s'est considérablement accrue en Pologne depuis la loi de 1870, grâce

(*) Cette traduction a été faite sur le texte allemand publié dans la « *Zeitschrift für Bergrecht* » par M. de Keppen, membre du Conseil des Mines à Saint-Pétersbourg ; nous empruntons à cette publication divers renseignements intéressants.

d'une part aux facilités que cette loi donnait à l'exploitation des mines et, d'autre part, aux droits d'entrée considérables, pour ne pas dire prohibitifs, par lesquels le gouvernement russe a cherché à protéger l'industrie du pays. La production des houillères, qui n'était que de 173.000 tonnes en 1865 et de 323.800 seulement en 1870, est montée à 2.431.000 tonnes en 1890 et tend encore à se développer; il en est de même de l'industrie du fer, et comme des capitaux français importants sont engagés tant dans celle-ci que dans l'industrie houillère, la connaissance des dispositions législatives en vigueur peut avoir un intérêt direct (*).

Le chapitre premier renferme des dispositions concernant les propriétés dans lesquelles peuvent être faites des recherches de mines et sur lesquelles peuvent être instituées des concessions (§§ 1 à 8), et des dispositions relatives aux personnes qui peuvent s'occuper de l'industrie des mines (§§ 9 à 15). Un progrès est réalisé sur le passé par ce fait que des concessions peuvent être accordées sur des propriétés de majorat ou dans les forêts de la couronne.

Dans toutes les propriétés de la couronne et dans les forêts importantes des particuliers, le ministre des domaines peut interdire ou restreindre l'exploitation (§§ 6, 7, 8).

Les minéraux retirés à la libre disposition du propriétaire du sol par la nouvelle loi sont (§ 3) les minerais de fer (sauf les minerais d'alluvion), de zinc, de plomb et les charbons fossiles ; la nouvelle loi comprend donc en plus de celle de 1870 les minerais de fer, les minerais

(*) Nous apprenons que le directeur du département des mines de Saint-Pétersbourg a l'intention de faire paraître le texte français de toutes les nouvelles lois russes, relatives à l'exploitation des mines par les particuliers.

de zinc autres que la calamine, et les combustibles fossiles autres que le charbon de terre (*).

Il est à noter que les minéraux renfermés dans les haldes d'anciennes mines ne sont pas soumis aux prescriptions de la loi; d'après le paragraphe 5, ce même paragraphe dit que l'exploitation des minéraux tels que les pierres de construction, l'argile, le gypse, etc., peut avoir lieu sans concession.

Dans les prescriptions concernant les personnes qui peuvent s'occuper de l'industrie minière (§§ 9 à 15), nous ne retiendrons que celles relatives aux étrangers; leurs droits restent ceux fixés par l'oukase du 24 décembre 1888 (**).

Les prescriptions du chapitre II relatives aux recherches (§§ 18 à 23) n'offrent rien de particulièrement nouveau.

Le droit d'inventeur de gisement d'un des minéraux dénommés au paragraphe 3 n'est reconnu, moyennant avis à l'ingénieur des mines, qu'à l'explorateur qui avait le droit de rechercher ce minéral (§§ 24, 25).

D'après le paragraphe 28, l'exploitation de minéraux utiles ne peut avoir lieu que dans les limites des périmètres de mines à ce concédés par le gouvernement.

Il convient de signaler la distinction établie par la loi entre les divers minéraux, d'autant plus qu'on peut lui reprocher de manquer de netteté.

Il y a, d'après la loi, trois sortes de minéraux utiles :

1° Les minéraux tels que les pierres de construction, l'argile, le gypse, etc., qui peuvent être exploités sans concession (§ 5); on remarquera que cette classe n'est pas nettement délimitée; en fait, elle comprend les substances minérales habituellement exploitées d'une ma-

(*) « Steinkohle ».
(**) Voir la note mentionnée plus haut.

nière banale, sans une véritable application de l'art des mines;

2° Les minéraux dénommés au paragraphe 3 qui peuvent être recherchés et exploités même sans le consentement du propriétaire du sol, dont l'exploitation ne peut avoir lieu sans concession et pour la concession desquels un droit de préférence appartient à l'inventeur ou, à défaut, à la personne qui a la première déclaré la découverte;

3° Les minéraux qui ne rentrent ni dans la première ni dans la deuxième classe, et dont la loi n'a nulle part spécifié la nature (*), tels que les minéraux autres que ceux de la deuxième classe dont l'extraction exige l'application de l'art des mines; ils ne peuvent être recherchés et exploités que par le propriétaire du sol ou avec son consentement, mais leur exploitation ne peut avoir lieu, même par le propriétaire du sol, qu'en vertu d'une concession (§ 28).

Les concessions sont accordées par le Département des mines au propriétaire du sol ou à son cessionnaire; mais, à défaut du consentement du propriétaire du sol ou, s'il s'agit de biens de majorats, même avec son consentement, les concessions pour l'exploitation des minéraux de la deuxième classe ne peuvent être accordées que dans les formes de l'expropriation pour cause d'utilité publique et, en général, avec la sanction impériale (§ 35).

Les concessions ne peuvent avoir une surface de plus de 113 hectares (250.000 sagènes carrés); la largeur ne doit pas, en général, être plus petite que le tiers de la longueur (§§ 36, 37).

L'acte de concession crée une propriété immobilière

(*) Tels sont par exemple les minerais de cuivre, le soufre, le sel.

nouvelle, distincte de celle de la surface inscrite dans les registres fonciers: à la charge de la propriété dont elle est détachée, d'une part, et comme immeuble nouveau d'autre part (§§ 38, 39).

Les concessions peuvent être cédées à des tiers, après avis préalable à l'ingénieur et au Département des mines (§ 65).

Pour ce qui concerne l'occupation temporaire des terrains, les prescriptions de la nouvelle loi sont à peu près celles de l'ancienne; toutefois, le droit à occupation de l'exploitant de mines ne s'étend pas aux terrains sur lesquels se trouvent des habitations, cours et jardins ou des établissements industriels. L'indemnité pour occupation est fixée au double du revenu net annuel des terrains occupés (§ 42 à 49).

Comme par le passé, le propriétaire d'un terrain occupé peut exiger l'acquisition de ce terrain par l'exploitant de mines, si l'occupation dure plus de trois ans, si le morcellement est excessif ou si le terrain ne peut être rendu dans son état primitif; il doit être payé, mais au double de sa valeur, le propriétaire conservant d'ailleurs son droit à la redevance tréfoncière. Lorsqu'il s'agit de terrains de paysans, au sujet desquels une autorité spéciale intervient toujours, l'exploitant ne paye la parcelle qu'à sa valeur, mais il est tenu en même temps de remettre au paysan une autre parcelle de même grandeur et de même nature (*) (§ 50).

La redevance tréfoncière s'applique à tous les minéraux exploités en vertu d'une concession, elle est fixée de gré à gré entre le concessionnaire et les propriétaires superficiaires et déterminée dans l'acte de concession; à défaut d'entente amiable, la loi la fixe à 1 p. 100 de la quantité extraite s'il s'agit de charbons ou de minerais

(*) Cette condition n'est pas toujours facile à remplir.

de zinc et à 1/2 p. 100 pour tous les autres minéraux; elle peut être remise en nature ou en argent et se partage entre les propriétaires superficiaires proportionnellement aux surfaces des propriétés comprises dans la concession (§ 52). La nouvelle loi ne maintient pas à l'exploitant de mines qui doit se rendre acquéreur d'un terrain à la requête du propriétaire superficiaire la faculté stipulée par la loi de 1870 de racheter la redevance tréfoncière correspondante moyennant une somme égale au prix payé pour ces terrains.

Le propriétaire superficiaire, qui veut bâtir à l'intérieur du périmètre d'une concession des mines dénommées au paragraphe 3, doit donner avis à l'exploitant à peine de perdre éventuellement son droit à indemnité pour les bâtiments qui pourraient être ultérieurement endommagés par la mine. L'exploitant peut, dans un délai d'un mois, donner avis que le terrain à bâtir est nécessaire à son exploitation et est tenu, si l'ingénieur des mines reconnait cette nécessité, de l'acquérir à la requête du propriétaire (§ 56).

En dehors de l'indemnité pour occupation temporaire de terrains, l'exploitant est tenu à toutes indemnités pour moins-value de ces terrains lors de leur restitution (54) et pour les dommages occasionnés à la surface de tout terrain par l'exploitation (§ 57).

Le privilège pour l'obtention de la concession des minéraux connexes à ceux déjà concédés dans un certain périmètre, que stipulent en général les diverses législations, n'est mentionné expressément par la loi actuelle que pour les minéraux dénommés au paragraphe 3 (§ 58).

L'obligation pour le concessionnaire de mettre et maintenir sa mine en activité et d'extraire annuellement un cube minimum (d'environ 300 mètres cubes) de minéraux utiles ou de matière stérile, sous peine de déchéance,

n'existe que pour les mines dénommées au paragraphe 3 (§§ 59 à 61).

Tout concessionnaire de mines doit prévenir une année à l'avance l'ingénieur des mines de l'abandon de l'exploitation; dans ce cas, les créanciers hypothécaires peuvent faire vendre publiquement la concession (§ 62); il en est de même en cas de déchéance d'une mine de la nature de celles du paragraphe 3. S'il n'y a pas d'acquéreur, la concession est annulée et l'exploitant ou ses créanciers doivent enlever les installations de la mine dans un délai de six mois, après lequel elles profiteraient au propriétaire superficiaire. L'exploitant ne doit toutefois pas enlever les échelles et les boisages de la mine; il doit clore les embouchures des puits et substituer aux bâtiments des puits, s'il les enlève, des hangars en planches.

Le paragraphe 66 accorde aux concessionnaires des mines dénommées au paragraphe 3 le droit d'abattre dans le périmètre de la concession souterrainement ou au jour, des pierres de construction et d'autres minéraux analogues nécessaires à ses constructions ou à l'exploitation, et cela sans indemnité, à la condition seulement de remettre au propriétaire, contre remboursement des frais d'extraction, la partie des minéraux dont il n'aurait pas besoin.

Le concessionnaire peut extraire le minéral à lui concédé des haldes provenant de l'exploitation antérieure de ce minéral (un de ceux du paragraphe 3) si le propriétaire superficiaire n'a pas commencé l'exploitation avant la concession (§ 66).

L'exploitant, qui extrait un minéral concédé à un tiers et connexe à celui à lui concédé, est tenu de le délivrer gratuitement à l'autre concessionnaire (§ 67).

Le paragraphe 63 prévoit l'utilisation des puits, galeries, canaux et machines d'épuisement d'un exploitant par un autre voisin. Les conditions de cette utilisation,

si elle est indispensable et ne nuit pas à l'exploitation du premier, sont fixées par l'ingénieur des mines, à défaut d'entente amiable.

Des travaux de secours reconnus nécessaires par l'ingénieur des mines peuvent être exécutés par l'exploitant en dehors de sa concession, tant dans d'autres concessions qu'en terrain non concédé ; ils peuvent aussi être exécutés par plusieurs exploitants syndiqués. Les tiers concessionnaires et les propriétaires superficiaires doivent être indemnisés de tout dommage occasionné par les travaux de secours (§ 69 à 71).

Les minéraux extraits, lors de l'exécution de travaux de secours, appartiennent à l'exploitant, s'ils proviennent de terrains non concédés. Dans le cas contraire, ils doivent être remis gratuitement au concessionnaire voisin. Dans les deux cas, le propriétaire superficiaire a droit à la redevance tréfoncière stipulée au paragraphe 52 et, d'après le texte de la loi, il semble qu'elle soit due par celui qui exécute le travail de secours, même dans le cas où il est obligé de se dessaisir des minéraux extraits sans indemnité aucune (§ 72).

Il y a lieu à indemnité de la part de la mine d'amont à la mine d'aval qui la dénoie (§ 73).

Un exploitant ne peut empêcher un concessionnaire voisin d'utiliser les eaux qui s'écoulent par les deux concessions, sauf indemnité de l'un à l'autre cas en cas de dommages (§ 74).

Les diverses indemnités stipulées pour les travaux de secours, etc., sont, à défaut d'entente amiable, fixées par l'ingénieur des mines, sauf recours aux tribunaux (§ 75).

Le chapitre VIII, relatif à la surveillance des mines par l'administration, à la conduite de l'exploitation et à la tenue des plans et registres, n'offre rien de particulier; mentionnons seulement que l'ingénieur des mines peut se faire représenter les pièces qui établissent les prix de vente déclarés par les exploitants (§ 78).

Le chapitre IX traite des secours auxquels peuvent donner lieu les agissements des diverses autorités administratives chargées de la surveillance des mines.

Dans la délibération du Conseil de l'Empire qui accompagne la loi, il suffit de mentionner, parmi les mesures transitoires, celle qui interdit la recherche et l'exploitation de minerais de fer sous des terrains appartenant à des tiers dans les deux premières années de la mise en vigueur de la loi.

Loi du 28 avril/10 mai 1892 sur l'industrie minière dans les gouvernements du royaume de Pologne.

Chapitre I. — *Dispositions générales.*

§ 1. — La recherche et l'exploitation de minéraux utiles peuvent avoir lieu tant dans les terrains appartenant à la couronne et autres établissements publics, que dans ceux des particuliers (sans en excepter les majorats).

§ 2. — La recherche et l'exploitation de tous minéraux utiles, dans les terrains mentionnés au paragraphe précédent, peuvent être entreprises tant par les propriétaires eux-mêmes que par des tiers, à ce dûment autorisés.

§ 3. — Les tiers ne peuvent exécuter des travaux de recherche et d'exploitation dans les terrains mentionnés au paragraphe 1, sans le consentement du propriétaire du terrain, que pour les minéraux suivants : 1° minerais de fer ; 2° minerais de zinc ; 3° minerais de plomb ; 4° charbons fossiles.

Observation. — La prescription de ce paragraphe ne s'applique pas aux minerais de fer des marais et aux minerais d'alluvion.

§ 4. — L'État a le droit d'exploiter des mines dans les terrains des particuliers sous les mêmes conditions que toutes autres personnes.

§ 5. — Les minéraux utiles que renferment les haldes d'anciennes mines ne sont pas soumis aux prescriptions de cette loi.

L'exploitation de minéraux tels que les pierres de construction, l'argile, le gypse, etc., peut avoir lieu sans concession (§ 28), et n'est soumise à la surveillance des ingénieurs de circonscriptions qu'au point de vue de la police des exploitations.

§ 6. — Dans les terrains domaniaux ou particuliers situés *a*) dans le rayon de forêts de protection ou de forêts qui protègent les sources et le cours supérieur des fleuves et des rivières, et *b*) dans des forêts de grande valeur, comme dans les terrains de la couronne particulièrement favorables pour l'exploitation au compte de l'État, l'exploitation des mines n'est permise que sous les réserves et conditions stipulées aux paragraphes 7 et 8. Le Ministre des domaines établira la liste de ces terrains, et la modifiera au besoin ; elle sera publiée par le Sénat dirigeant. Les terrains mentionnés à la clause *a* y seront inscrits d'office, ceux mentionnés à la clause *b*, sur demandes spéciales agréées par le Ministre des domaines.

§ 7. — Le Ministre des domaines pourra arrêter un règlement pour la recherche et l'exploitation de minéraux utiles dans les terrains mentionnés au paragraphe 6, fixant les mesures à prendre pour protéger la surface et les forêts, ainsi que le montant du cautionnement à verser, le cas échéant, par les exploitants de mines pour garantir l'exécution de la présente loi.

Le Ministre des domaines appréciera, en ce qui concerne l'état des terrains à publier, conformément au paragraphe 6 :

a. Dans quels terrains domaniaux ou particuliers la recherche ou l'exploitation de minéraux utiles seront interdits jusqu'à nouvel ordre ;

b. Dans quels terrains de la couronne l'exploitation de minéraux utiles découverts par des particuliers pourra leur être retirée et sera faite par l'État, contre payement d'une indemnité convenable à l'inventeur, tant pour ses débours que pour la découverte même.

§ 9. — L'exploitation des mines est permise aux sujets russes de toute catégorie, sauf les exceptions indiquées dans les paragraphes 10 et 13.

Observation. — Les droits des étrangers pour l'exploitation des mines sont réglés par l'ukase du 24 décembre 1888.

§ 10. — L'exploitation des mines ne peut avoir lieu par ceux qui ont perdu leurs droits et privilèges personnels et spéciaux.

§ 11. — Le clergé peut avoir des parts dans les entreprises de mines ; mais il ne peut s'occuper directement de leur exploitation.

§ 12. — Il est interdit de s'occuper de l'exploitation des mines dans les terrains des tiers et d'y prendre des intérêts :

1° Aux personnes occupant au Ministère des domaines des fonctions dans le service des mines ou dans l'Administration des terrains de la couronne ; 2° aux employés dépendant de ce même ministère qui sont occupés dans les administrations locales des usines de la couronne ou des domaines de l'Empire, et à ceux qui sont chargés de la surveillance de l'industrie minière des particuliers, mais seulement dans l'étendue de leur service ; 3° aux femmes et aux enfants mineurs des personnes dénommées sous 1° et 2° dans les limites où cela est interdit à ces dernières, et 4° aux juifs.

§ 13. — Les personnes auxquelles il est interdit de s'occuper de l'exploitation des mines ne peuvent pas non plus représenter des tiers dans les affaires de mines.

§ 14. — Les personnes auxquelles il est interdit de s'occuper de l'exploitation des mines, comme celles qui ont perdu ce droit, sont tenues de vendre ou de céder, dans un délai de trois ans, les concessions à elles transmises ou leur appartenant, ce délai courant pour les premières du jour de l'acquisition, pour les dernières du jour de la perte du droit. A défaut de l'exécution de cette prescription ces personnes tombent sous le coup des prescriptions du paragraphe 61. Cette disposition s'applique également à la participation dans des entreprises minières.

§ 15. — Les personnes auxquelles il est permis de s'occuper de l'exploitation des mines peuvent, dans les conditions ordinaires, constituer des sociétés à cet effet et s'associer à de pareilles sociétés. Les contrats y relatifs et les statuts des sociétés doivent être portés à la connaissance de l'ingénieur du cercle et du Département des mines.

§ 16. — Tous les frais pour publications à faire dans les cas prévus par la loi, pour concessions de périmètres de mines, pour cessions de terrains destinés à l'exploitation, etc., incombent aux exploitants.

§ 17. — Le Ministre des domaines est autorisé à trancher les questions douteuses que pourrait soulever l'application de cette loi et à arrêter des instructions générales ou des ordonnances spéciales obligatoires pour son application. Ces instructions et ordonnances ne devront pas s'étendre à des objets ou des affaires qui, par leur nature, exigent un examen judiciaire ou législatif. Les instructions générales obligatoires pour l'application de la loi doivent être publiées par l'intermédiaire du Sénat dirigeant.

CHAPITRE II. — *Des recherches.*

§ 18. — Les propriétaires de terrains et les personnes par elles autorisées peuvent librement rechercher sur leurs terrains tous les minéraux.

Observation. — Dans les périmètres concédés pour l'exploitation d'un minéral déterminé, personne n'a le droit de rechercher le même minéral.

§ 19. — Les recherches sont interdites dans les villes et villages, sous les voies ferrées et les rues, dans les cimetières et dans tous les endroits où des raisons majeures d'intérêt public s'opposent aux travaux.

§ 20. — Les travaux de recherche ne pourront être exécutés sans le consentement du possesseur des terrains, dans ceux qui contiennent des édifices, des cours, des établissements industriels, des jardins d'agrément ou potagers et dans un rayon de vingt-cinq sagènes des édifices.

§ 21. — Le possesseur du terrain ne peut refuser aux tiers l'autorisation de rechercher sur son terrain les minéraux dénommés au paragraphe 3, que dans les cas prévus aux paragraphes 8, 18 (observation), 19 et 20.

§ 22. — En cas de refus d'autoriser des travaux de recherche, sans motif légal (§ 21), l'autorisation est donnée par l'ingénieur du cercle qui, au besoin, d'après la nature des travaux à exécuter (travaux à ciel ouvert, puits, sondages, etc.), fixe la situation et l'étendue du terrain nécessaire. Cette autorisation devient nulle si l'intéressé ne l'utilise pas dans un délai d'une année.

§ 23. — L'autorisation de recherche accordée à un exploitant n'empêche pas d'autres personnes d'obtenir des autorisations pareilles dans la même propriété, mais seulement en dehors des parcelles effectivement utilisées par le premier explorateur pour ses travaux de recherches.

CHAPITRE III. — *De la déclaration des découvertes.*

§ 24. — L'explorateur qui a découvert sur son propre terrain ou sur le terrain d'autrui un des minéraux désignés au paragraphe 3 dans son gisement naturel, doit en faire la déclaration à l'ingénieur du cercle dans le délai de sept jours après la découverte.

§ 25. — L'explorateur qui avait le droit de faire des recherches

dans le terrain où il a fait la découverte (§§ 18 et 23) et qui en a fait la déclaration dans le délai prescrit (§ 24), jouit du droit d'inventeur, si avant sa découverte il n'a été fait aucune déclaration par des tiers d'une découverte du même minéral dans le même champ.

§ 26. — L'ingénieur du cercle est tenu de vérifier aussitôt que possible, après réception de la déclaration d'une découverte, la réalité de celle-ci et la date à laquelle elle a eu lieu. Si, lors de l'examen fait à cet effet, la découverte est bien constatée et si, lorsqu'il s'agit de charbon, la couche reconnue a une puissance d'au moins deux pieds, la découverte doit être publiée dans le *Journal officiel* de la localité, au plus tard dans un délai de deux semaines après l'enquête.

Observation. — La procédure de l'enquête prescrite dans ce paragraphe et la forme de la publication des découvertes de minéraux seront fixées par le Ministre des domaines.

§ 27. — Les oppositions ou objections de tiers intéressés au sujet de la découverte publiée ne peuvent être présentées à l'ingénieur du cercle que pendant le mois qui suit la publication prescrite au paragraphe 26. Si des oppositions ou objections sont présentées dans le délai indiqué, l'ingénieur du cercle fixera, pour procéder à une enquête, une date qui sera publiée à temps dans le *Journal officiel* de la localité. L'ingénieur du cercle dresse de cette enquête un procès-verbal qu'il transmet au Département des mines avec son avis, la demande en concession de l'inventeur et l'acte pour la concession du périmètre de mine.

CHAPITRE IV. — *De la concession des périmètres pour l'exploitation des mines.*

§ 28. — L'exploitation de minéraux utiles ne peut avoir lieu que dans les limites des périmètres de mines à ce concédés par le gouvernement.

§ 29. — La demande en concession d'un périmètre de mines doit être présentée au Ministre des domaines par l'intermédiaire de l'ingénieur du cercle. Elle doit contenir :

a) Le nom de la mine ; *b*) la désignation du minéral à exploiter et de la découverte, à raison de laquelle la concession est demandée ; *c*) la situation du périmètre, c'est-à-dire le gouvernement, le cercle, le district et les limites ; *d*) la surface que renferme le périmètre ; *e*) les propriétés territoriales qu'il couvre. En outre il doit être joint à la pétition un plan en triple expédi-

tion et le registre des parcelles contenues dans le périmètre, ou bien un certificat du géomètre constatant que ces documents se préparent chez lui.

§ 30. — La pétition en concession d'un périmètre de mine pour l'exploitation des minéraux désignés au paragraphe 3 restera sans suite :

a) Si elle a été présentée avant déclaration de la découverte du minéral ; *b*) si elle a été présentée plus de trois mois après l'examen de la découverte (§ 26), et en cas d'opposition et d'objections, plus de six semaines après réception de l'avis de l'ingénieur du cercle sur le résultat de son enquête (§ 27).

§ 31. — Si divers concurrents ont présenté des demandes en concession de périmètres de mines pour l'exploitation des minéraux désignés au paragraphe 3, sur les mêmes terrains, mais avec des limites différentes, ou si la surface des périmètres demandés en concession empiète sur celle des périmètres voisins demandés pour l'exploitation du même minéral, la préférence est donnée au concurrent qui a découvert le premier le minéral dans son gisement naturel. Si le premier inventeur de la découverte ne remplit pas les conditions prescrites par les paragraphes 24, 25 et 30, ou s'il n'a pas établi la réalité de sa découverte ou la priorité de celle-ci, la préférence est donnée à celui qui a le premier déclaré la découverte.

§ 32. — Sur la même surface de terrain il peut être concédé des périmètres de mines pour l'exploitation de minéraux différents, bien que les surfaces de ces périmètres se recouvrent mutuellement. Toutefois, une pareille concession ne peut être accordée que si l'ingénieur du cercle certifie que la nouvelle exploitation de mine ne gênera pas les travaux du premier exploitant et ne lui causera pas de dommage.

§ 33. — La concession de périmètres de mines pour l'exploitation de couches de charbon de moins de 2 pieds de puissance ne sera accordée que si les conditions de l'exploitation sont très favorables.

§ 34. — La concession d'une mine sur les terrains du pétitionnaire ou sur les terrains d'autrui, mais avec le consentement du propriétaire, a lieu sur ordonnance du Département des mines.

§ 35. — La concession d'une mine pour l'exploitation des minéraux désignés au paragraphe 3, sur des terrains d'autrui sans le consentement du propriétaire ainsi que sur des terrains de majorats, même avec le consentement des propriétaires, ne

peut avoir lieu que sous la sanction impériale et par la procédure prescrite pour l'expropriation d'immeubles dans l'intérêt de l'État et dans l'intérêt public (Code civil, vol. X, 1re partie, 1887, art. 576 et suivants). Pour l'indemnité à payer aux propriétaires des terrains, il y a lieu d'appliquer les paragraphes 47 à 53 de cette loi, à défaut d'entente amiable.

Observation 1. — Dans le cercle de Bendzin, gouvernement de Petrikau, et dans le cercle d'Olkusz, gouvernement de Kielce, l'expropriation de l'intérieur des terres nécessaire pour l'exploitation des mines et des terrains de la surface, est accordée par le Ministre des domaines, sans que la sanction impériale soit nécessaire. Si dans d'autres cercles, où l'on reconnaîtrait des gisements puissants des minéraux désignés au paragraphe 3, l'industrie privée venait à en entreprendre l'exploitation, le Ministre des domaines pourrait demander un ukase impérial non seulement pour chaque périmètre de mine, mais pour l'étendue de tout un cercle. En vertu d'un pareil ukase, le Ministre des domaines pourra concéder des périmètres de mines dans ces cercles.

Observation 2. — La concession de périmètres de mines sur les terrains de majorats exige chaque fois la sanction impériale.

§ 36. — La surface renfermée dans un périmètre de mine ne devra pas excéder 250.000 sagènes carrés (113ha,25). L'étendue minima des périmètres sera fixée par le Ministre des domaines d'après les circonstances locales et la nature du minéral.

§ 37. — Toute concession de mine devra avoir, autant que possible, une forme régulière et des limites rectilignes; la largeur ne devra pas être moindre du tiers de la longueur, si les circonstances locales ne s'y opposent pas.

Observation. — La largeur des concessions de minerais de fer, lorsqu'elles portent sur les terrains propres du demandeur ou sur des terrains pour lesquels le propriétaire a donné son consentement à la concession, peut être plus petite que le tiers de la longueur.

§ 38. — Le Département des mines délivrera un acte de concession pour chaque mine. Cet acte contiendra : le nom, les prénoms et le domicile du concessionnaire, le numéro, le nom, la surface et les limites de la concession, la désignation du minéral objet de la concession, les clauses et les conditions de son octroi, et l'obligation d'indemniser le propriétaire du terrain tant pour le dessus que pour le dessous.

§ 39. — L'acte de concession crée une nouvelle propriété

immobilière, distincte de celle de la surface. En conséquence l'acte sera inscrit à la fois et sur le registre des hypothèques du propriétaire du terrain et sur un nouveau registre d'hypothèques affecté spécialement à la concession.

Observation 1. — Les propriétaires de terrains qui ont obtenu des concessions de mines exclusivement sur leurs propres terrains pour être exploitées par eux-mêmes, ne sont pas tenus à établir des registres d'hypothèques spéciaux pour les concessions de mines.

Observation 2. — La réunion de diverses concessions sur un même registre d'hypothèques sera admise sur la demande spéciale des exploitants, avec l'autorisation du Ministre des domaines et, le cas échéant, le consentement des créanciers inscrits au registre.

§ 40. — La délimitation des concessions est exécutée par le géomètre du Département des mines qui pose les bornes nécessaires. Les concessionnaires voisins et les propriétaires des parcelles où doivent être placées des bornes sont convoqués pour assister à l'opération; les propriétaires précités ne peuvent pas s'opposer à la pose des bornes.

CHAPITRE V. — *Relation entre les exploitants de mines et le propriétaires de terrains.*

§ 41. — L'exploitant de mines est tenu d'indemniser le propriétaire de terrains pour la surface occupée par des travaux de recherches. Si les parties ne peuvent pas s'entendre à l'amiable, l'indemnité sera fixée au double du produit net annuel du terrain estimé comme il est dit au paragraphe 46; l'indemnité est payable à l'avance pour chaque année.

§ 42. — Le propriétaire de terrains est tenu de céder à l'exploitant de mines concessionnaires d'un périmètre, dans les limites de ce périmètre, les terrains nécessaires aux travaux à ciel ouvert ou souterrains (comme orifices de puits, galeries, travaux de découvert, sondages, etc.), aux haldes, aux dépôts des matériaux extraits, à l'établissement de chemins et de voies ferrées, de canaux, de conduites d'amenée ou d'évacuation d'eau, de machines, et à d'autres installations minières, à des bâtiments d'exploitation ou à des logements d'ouvriers.

§ 43. — L'exploitant ne peut en aucun cas exiger la cession de terrains occupés par des habitations, des cours, des jardins ou des établissements industriels.

§ 44. — L'étendue et la situation des terrains nécessaires à l'exploitant de mines (§ 42) seront fixées, à défaut d'entente amiable, par l'ingénieur du cercle au plus tard dans le courant du mois qui suit la présentation de la pétition y relative.

Observation. — Toutes les questions concernant la cession de terrains appartenant aux paysans seront décidées par l'office pour les affaires des paysans du gouvernement, avec le concours de l'ingénieur du cercle. Toutes les conventions entre les paysans et les exploitants de mines sur la cession de terrains qui sont inscrits dans les actes du cadastre (tableaux de liquidation et acte de donation) doivent être faites devant notaire et exigent la confirmation préalable de leurs stipulations par l'office pour les affaires des paysans du gouvernement.

§ 45. — Le propriétaire d'une concession qui s'étend sur des terrains d'autrui est tenu d'indemniser le propriétaire de ces terrains tant pour les parcelles occupées pour l'exploitation que pour le tréfonds de la concession. Le montant de cette indemnité sera établi à l'amiable par les parties; l'indemnité peut être réglée par un payement unique ou par des payements périodiques. Pour les terrains inscrits au registre des hypothèques, l'accord amiable ne peut être fait que si les créanciers hypothécaires le connaissent.

§ 46. — Si les parties ne peuvent pas s'entendre sur l'indemnité relative à la cession de terrains pour les besoins de l'exploitation, le montant en sera fixé, conformément aux paragraphes 47 à 51, par voie administrative, après avis d'experts; pour les terrains de paysans la fixation se fera par le bureau des affaires des paysans; pour les terrains appartenant à d'autres propriétaires par l'administration du gouvernement, et, dans les deux cas, en présence d'un représentant de l'administration des mines. Les diverses administrations sont tenues de rendre leur décision sur le montant de l'indemnité dans le délai d'un mois après réception de l'avis de l'ingénieur du cercle concernant la nécessité de la cession d'un terrain pour l'exploitation minière.

La partie qui contesterait le montant de l'indemnité ainsi fixée peut, dans le délai d'un mois à partir de sa notification, porter son recours devant le tribunal compétent.

§ 47. — L'indemnité annuelle pour occupation de terrains par l'exploitation des mines sera fixée au double du produit net annuel perdu pour le propriétaire du terrain; toutefois, pour des terrains sans produit, elle sera égale à la moyenne du pro-

duit annuel que pourrait donner le terrain comparé à d'autres du voisinage dans des conditions analogues.

§ 48. — L'indemnité pour la superficie des terrains occupés doit être payée à l'avance pour chaque année.

§ 49. — L'indemnité pour les bâtiments situés sur le terrain occupé sera établie, indépendamment de la superficie, d'après leur valeur en capital.

§ 50. — Lorsqu'une parcelle est occupée par l'exploitant de mines pour plus de trois ans, ou lorsque l'occupation de parties d'un terrain le morcelle de telle manière que les autres parties ne peuvent être utilisées comme auparavant, ou lorsqu'un terrain ne peut être rendu dans son état antérieur, le propriétaire du terrain a le droit d'exiger que l'exploitant de mines en fasse l'acquisition au double de la valeur en capital que la surface avait avant son occupation pour les besoins de l'exploitation de la mine. Lors d'une pareille cession, l'ancien propriétaire du terrain conserve ses droits à l'indemnité pour le tréfonds du terrain cédé.

Observation. — L'acquisition de terrains appartenant aux paysans et inscrits dans les actes du cadastre (tableaux de liquidation et actes de donation) par les concessionnaires de mines, peut avoir lieu tant par entente amiable avec les paysans, qu'à la requête de ces derniers (dans les cas prévus au paragraphe précédent) avec l'assentiment de l'office pour les affaires de paysans du gouvernement, à la condition que l'exploitant de mines remette au paysan, en dehors du payement de la valeur simple du terrain, un autre terrain de même grandeur et de même qualité. La nécessité de la cession du terrain pour l'exploitation des mines doit être certifiée par l'ingénieur du cercle.

§ 51. — On ne fera pas entrer dans l'estimation de la valeur des terrains l'augmentation que cette valeur a pu subir du fait de l'exploitation des mines.

§ 52. — Lorsqu'il ne s'établit pas d'entente amiable au sujet de l'indemnité due au propriétaire du terrain, pour l'exploitation du dessous, cette indemnité sera fixée sur les bases suivantes :

1° Pour les charbons minéraux et les minerais de zinc à 1 p. 100 et pour les autres minéraux à 1/2 p. 100 de toute la quantité de minéraux extraits par les travaux souterrains ou à ciel ouvert.

2° Lorsqu'une concession s'étend sur des terrains appartenant à divers propriétaires, la redevance tréfoncière sera partagée

entre les divers propriétaires de la surface, proportionnellement à la surface des terrains leur appartenant, qu'il y ait ou qu'il n'y ait pas exploitation sous ces terrains.

3° Cette redevance peut être réglée en nature ou en argent, au choix des propriétaires fonciers.

§ 53. — L'indemnité pour occupation temporaire et la redevance tréfoncière sont, pour des terrains de majorat, remises au propriétaire dudit majorat. Toutefois, l'indemnité pour expropriation de terrains et celle due pour moins-value des terrains occupés temporairement, ainsi que pour coupes de forêts, s'il en résulte une diminution de la surface du majorat plantée en forêts, doivent être déposées à la Banque d'État (ou à l'une de ses succursales) et constituent une dépendance du majorat, le propriétaire ne pouvant que toucher les intérêts de ces indemnités.

§ 54. — Les terrains occupés temporairement par l'exploitant de mines, lorsqu'ils ne lui sont plus nécessaires, doivent être restitués au propriétaire, l'exploitant devant les remettre auparavant dans leur état primitif ou bien payer une indemnité représentant leur moins-value. Pour garantir cette obligation l'exploitant de mines devra, à la requête du propriétaire, déposer, avant prise de possession du terrain, à la succursale de Varsovie ou à une autre succursale de la Banque d'État, un cautionnement, dont le montant sera fixé à l'amiable par les parties ou suivant le mode indiqué au paragraphe 46.

§ 55. — Lors de la restitution au propriétaire d'un terrain occupé par l'exploitation des mines tous les bâtiments y existant devront être démolis dans le délai d'une année, sans quoi ils reviennent au propriétaire sans indemnité de sa part.

§ 56. — Lorsque le propriétaire d'un terrain compris dans le périmètre d'une concession des minéraux désignés au paragraphe 3 veut y élever des bâtiments, il doit en donner avis au concessionnaire ; celui-ci a le droit, dans le délai d'un mois, de notifier qu'il a besoin de ce terrain pour l'exploitation des mines. Le fait doit être certifié par l'ingénieur du cercle. En ce cas, l'exploitant de mines est tenu d'acheter le terrain, si le propriétaire le requiert. Lorsque ce dernier construit sans aviser au préalable le concessionnaire, il perd le droit à indemnité pour les bâtiments, si ceux-ci sont démolis par l'exploitation.

§ 57. — L'exploitant est tenu d'indemniser le propriétaire de la surface pour tout dommage qu'il y occasionne. Les différends en résultant sont résolus par la voie judiciaire.

CHAPITRE IV. — *Droits et obligations des concessionnaires de mines.*

§ 58. — Le concessionnaire n'a le droit d'extraire que les minéraux désignés dans son acte de concession. Il a toutefois un privilège pour être autorisé à extraire, dans l'étendue de la concession, d'autres minéraux parmi ceux désignés au paragraphe 3, s'ils se trouvent dans un seul et même gisement avec les minéraux concédés.

Lorsqu'un tiers demande l'autorisation d'extraire, dans le périmètre d'une concession de mine, un des minéraux désignés au paragraphe 3 et non mentionné dans l'acte de concession, le concessionnaire devra faire valoir son privilège dans un délai de trois mois à dater de l'avis que lui donnera l'ingénieur du cercle de la nouvelle demande.

§ 59. — Le concessionnaire d'un des minéraux désignés au paragraphe 3 est tenu de commencer l'exploitation dans le délai d'un an à dater de la remise de l'acte de concession (§ 38) et de commencer l'extraction l'année suivante en extrayant annuellement aux moins trente sagènes cubes (291 mètres cubes) de minéraux utiles ou de roches stériles encaissantes.

Observation 1. — L'abatage des roches stériles doit être faite par des travaux de mine réguliers.

Observation 2. — Lorsque plusieurs concessions voisines appartenant à un même concessionnaire extraient le même minéral par des puits, galeries ou autres travaux débouchant à la surface dans une seule des concessions, la quantité minima à extraire (§ 59) sera proportionnée au nombre des concessions, quelle que soit celle d'où le minéral est extrait.

Observation 3. — Le Ministre des domaines peut, dans des cas spéciaux, dispenser les exploitants de mines pour un temps déterminé, d'exploiter leurs concessions.

§ 60. — Lorsqu'un exploitant de mine ne commence pas l'exploitation de la mine ou l'extraction du minéral concédé dans les délais légaux ou lorsqu'il interrompt l'exploitation, ou lorsqu'il extrait moins de minéral ou de roche stérile que le minimum légal (§ 59), l'ingénieur du cercle doit exiger le commencement, la reprise ou l'accroissement de l'exploitation dans un délai fixé qui ne doit pas dépasser neuf mois.

§ 61. — Lorsque l'exploitant, sans motifs valables, n'obtempère pas dans le délai fixé, à l'invitation prévue dans le paragraphe précédent, l'ingénieur du cercle en réfère au Ministre des domaines, qui pourra ordonner le retrait de la concession.

Le retrait d'une concession fait l'objet d'un affichage préalable et d'une notification au concessionnaire et aux créanciers inscrits au registre d'hypothèques. Ces derniers pourront, dans un délai de trois mois, demander la vente aux enchères de la concession. Mais si pareille demande n'est pas faite dans le délai indiqué ou si l'enchère faite à la demande des créanciers reste sans résultat, la concession est annulée et le terrain qu'elle englobait est déclaré libre pour de nouvelles demandes.

§ 62. — Lorsqu'un exploitant de mine veut arrêter son exploitation, il est tenu d'en aviser l'ingénieur du cercle un an à l'avance et de restituer l'acte de concession. En ce cas, on suivra la procédure indiquée au paragraphe 61 pour la publication, l'avis aux créanciers et la vente aux enchères.

§ 63. — Lorsque la vente aux enchères d'une concession (61 et 62) reste sans résultat et que la concession est annulée, toutes les installations de la mine devront être enlevées par l'exploitant ou ses créanciers dans le délai de six mois à dater de la notification de l'annulation de la concession. Passé ce délai, elles reviennent au propriétaire du terrain sur lequel elles se trouvent.

§ 64. — Lors de l'enlèvement de l'outillage d'une mine, l'exploitant est libre d'emporter les bâtiments par lui enlevés ou de les vendre pour être enlevés et d'enlever les machines, les outils et le mobilier, ainsi que les rails de mine. Par contre il est tenu de laisser les échelles et le boisage de la mine, de fermer les orifices des puits et de remplacer les bâtiments des puits (s'il ne préfère pas les laisser en place) par des hangars en planches.

§ 65. — Les concessionnaires ont le droit de céder leurs concessions à d'autres personnes, mais ils doivent en donner avis préalable à l'ingénieur du cercle et au Département des mines.

§ 66. — Les exploitants bénéficiaires de concessions pour l'exploitation d'un des minéraux désignés au paragraphe 3 sur des propriétés de tiers sans que les propriétaires aient donné leur consentement à la concession ont le droit : *a*) d'extraire, dans les limites de leurs concessions, des pierres à bâtir, de l'argile et d'autres minéraux analogues nécessaires à des constructions minières ou en général à l'exploitation des mines, sous la réserve que les minéraux extraits qui ne leur sont pas nécessaires seront remis au propriétaire du sol contre remboursement des frais d'extraction; *b*) d'exploiter les anciennes haldes provenant de

l'exploitation du minéral objet de la concession, si le propriétaire de la surface n'a pas commencé à les exploiter avant la concession. Les différends naissant de ce chef entre l'exploitant de mine et le propriétaire du sol sont résolus par l'ingénieur du cercle. La partie qui n'accepterait pas la décision de l'ingénieur peut appeler la partie adverse devant les tribunaux pendant le délai d'un mois après notification de la décision.

Chapitre VII. — *Relations entre exploitants de concessions voisines.*

§ 67. — Lorsqu'un exploitant détenteur d'une concession sur des terrains pour lesquels d'autres exploitants sont concessionnaires de minéraux différents (§ 32), extrait accessoirement avec le minéral à lui concédé celui qui fait l'objet d'une autre concession, il est tenu de délivrer à l'autre concessionnaire, sur sa demande, et gratuitement, toute la quantité du second minéral extrait. Cette extraction accessoire d'un autre minéral ne peut d'ailleurs avoir lieu que si elle est nécessitée par les conditions de gisement du minéral concédé à l'exploitant.

§ 68. — Un concessionnaire de mines ne peut refuser aux mines voisines l'usage de ses canaux, puits, galeries et machines, tant qu'ils sont en exploitation, si l'existence de ces mines voisines en dépend et en tant qu'il n'en résulte pas d'inconvénients ou de dangers pour sa propre mine. Les conditions d'un pareil usage seront fixées par entente entre les parties; à défaut, l'ingénieur du cercle fixe les conditions après avoir consulté des experts.

§ 69. — L'exploitant a le droit d'exécuter, en dehors des limites de sa concession soit en terrain non concédé, soit dans des concessions de tiers, les travaux de secours souterrains ou superficiels nécessaires pour l'épuisement, l'aérage ou l'exploitation régulière de sa mise, sans que ces travaux puissent créer des inconvénients ou des dangers pour l'exploitation des concessions de tiers. La nécessité de l'exécution de ces travaux doit être reconnue par l'ingénieur du cercle.

L'exploitant de mine est tenu d'indemniser les concessionnaires voisins et les propriétaires de la surface de tout dommage résultant des travaux de secours.

§ 70. — Les propriétaires de plusieurs mines peuvent s'entendre pour l'exécution en commun de travaux de secours.

§ 71. — Les travaux de secours sont la propriété des mines pour lesquelles ils sont exécutés.

§ 72. — Lorsque l'exploitant exécute des travaux de secours en dehors de sa concession dans des terrains non concédés, les minéraux abattus dans ces travaux lui appartiennent. Mais lorsque les travaux sont exécutés dans la concession d'un tiers, les minéraux concédés à ce tiers devront lui être remis gratuitement.

Dans les deux cas, l'exploitant est tenu d'indemniser le propriétaire du sol pour les minéraux extraits dans les travaux de secours. Cette indemnité est fixée sur les mêmes bases que celle stipulée pour la jouissance du tréfonds en général (§ 52).

§ 73. — Dans les cas où une mine voisine d'une autre se trouve débarrassée des eaux, à raison de sa situation, par les installations d'épuisement de cette dernière, le propriétaire de la première mine est tenu d'indemniser l'autre propriétaire pour cet épuisement.

§ 74. — L'exploitant d'une mine n'a pas le droit d'interdire à un propriétaire de mine voisin l'utilisation des eaux qui s'écoulent par les deux concessions. S'il en résulte un dommage quelconque pour l'un des exploitants, l'autre devra l'en indemniser.

§ 75. — Le montant de l'indemnité dans les cas mentionnés aux paragraphes 68, 69, 73 et 74 est fixé par entente entre les parties ou, à défaut, par l'ingénieur du cercle. La partie qui n'accepterait pas la fixation de l'ingénieur peut recourir à la voie judiciaire dans le délai d'un mois à dater du jour de la notification de cette fixation.

Chapitre VIII. — *Surveillance de l'industrie des mines et mode d'exécution des travaux de mines.*

§ 76. — La surveillance de l'industrie des mines est confiée aux ingénieurs de cercle et à leurs adjoints qui dépendent du Département des mines au ministère des domaines de l'Empire.

§ 77. — Sur chaque concession, il doit être tenu un registre recevant journellement, dans la forme approuvée par le ministre des domaines de l'Empire, l'inscription de la quantité de minéraux extraits; pour les charbons, la quantité sera divisée par espèces. Les registres sont préparés par les exploitants de mines eux-mêmes; ils doivent être présentés au plus tard un mois avant le commencement de l'année d'exploitation à l'ingénieur du cercle, qui les vise et y appose son cachet. Ces registres doivent pouvoir être examinés en tout temps par l'ingénieur du cercle et les géomètres du Département des mines.

§ 78. — Les exploitants de mines sont tenus de présenter à l'ingénieur du cercle : *a*) des renseignements sur les prix de vente des minéraux extraits par eux, l'ingénieur pouvant demander à les vérifier par les documents y relatifs; *b*) des notes statistiques sur les mines, et toutes leurs installations d'après des formulaires approuvées par le ministre des domaines de l'Empire.

§ 79. — Les exploitants sont tenus de procéder à l'abatage des minéraux conformément aux règles de l'art, sans entraver (matériellement ou économiquement) l'abatage ultérieur du même gisement ou d'un gisement voisin.

§ 80. — Les concessionnaires de minéraux désignés au paragraphe 3 sont tenus d'exploiter conformément aux plans par eux projetés. Ces plans doivent être présentés à l'ingénieur du cercle qui examine s'ils répondent aux conditions fixées au paragraphe 79. Lorsque l'ingénieur du cercle ne fait pas d'opposition dans le mois, au plan présenté, l'exploitant est autorisé à exploiter conformément au plan présenté, comme si celui-ci avait été vérifié par l'ingénieur du cercle.

Si l'ingénieur juge des modifications nécessaires il doit convoquer l'exploitant dans le délai d'un mois pour discuter avec lui ces modifications. A défaut d'entente, le plan est présenté au Département des mines avec les observations de l'ingénieur du cercle et les explications de l'exploitant; le Département, après avis du Comité supérieur des mines (*), prend une décision obligatoire pour l'exploitant.

S'il devient nécessaire de s'écarter d'une manière notable du plan d'exploitation approuvé, les modifications seront examinées de la même manière. Si, par suite d'événements imprévus, il devient nécessaire de s'écarter immédiatement du plan d'exploitation, l'exploitant est tenu d'en aviser l'ingénieur du cercle dans un délai de sept jours.

Si un exploitant ne se conforme pas à ces prescriptions ou s'il introduit des modificatiens au plan approuvé sans motifs sérieux, il est passible des suites prévues au paragraphe 61.

Observation. — L'exploitation de minéraux déposés en roches peut avoir lieu sans plan d'exploitation, mais elle doit être faite régulièrement.

§ 81. — Les travaux souterrains devront être conduits suivant

(*) « *Bergwerks-Gelehrtenkomite* » qui veut dire textuellement « *Comité des savants des mines* ».

les prescriptions contenues dans la suite de l'article 1er (observation 5) du statut général des mines (*Bulletin des lois*, tome VII, édition 1890).

CHAPITRE IX. — *Plaintes contre les employés au sujet de l'exécution de la loi.*

§ 82. — Les particuliers lésés par des employés de l'administration des mines agissant pour l'exécution de la présente loi, peuvent recourir en première instance au Département des mines et en deuxième instance au Ministre des domaines de l'Empire. Ces recours doivent être présentés dans le délai d'un mois après réception de la décision qui donne lieu au recours.

§ 83. — Les recours mentionnés au paragraphe 82 doivent être remis aux employés incriminés et transmis par ceux-ci au Ministère dans le délai d'un mois avec leurs explications. Il est fait exception à cette règle pour les réclamations relatives à la lenteur de la procédure ou au rejet d'une plainte, auquel cas le recours peut être présenté directement au Ministre des domaines.

§ 84. — Les recours contre les décisions du Ministre des domaines de l'Empire seront présentés au Sénat dirigeant (1er Département) dans le délai d'un mois après notification de la décision, y compris un délai spécial pour l'envoi du recours, calculé à raison de 50 verstes (53 kilomètres) par jour sur route de terre, et 300 verstes (320 kilomètres) par jour sur voie ferrée.

Délibération du Conseil de l'Empire avec sanction impériale du 28 avril/10 mai 1892.

La nouvelle loi sur l'industrie des mines dans les gouvernements du royaume de Pologne entrera en vigueur le jour de sa publication; elle remplace la loi du 16/28 juin 1870 et le règlement du 18/30 mai 1873, avec les prescriptions suivantes :

1° Les personnes dénommées aux paragraphes 11 et 12 de la nouvelle loi auxquelles ont été accordées antérieurement des concessions pour l'exploitation de minéraux, restent propriétaires de ces concessions.

2° Les concessions accordées d'après la loi des mines du 16/28 juin 1870 ne sont pas modifiées; mais les droits et obligations des concessionnaires sont fixés à l'avenir par la nouvelle

loi. Toutefois les conventions amiables conclues entre les exploitants de mines et les propriétaires fonciers restent en vigueur.

3° Dans le courant des deux premières années après la mise en vigueur de la nouvelle loi, la recherche et l'extraction de minerais de fer ne pourront être permises sur les terrains de tiers sans leur consentement.

4° Les demandes en instance pour l'attribution de périmètres de recherches d'après la loi du 16/28 juin 1870 sont classées sans suite.

5° Les personnes qui ont fait des déclarations de découverte avant la mise en vigueur de la nouvelle loi devront demander des concessions pour l'exploitation des minéraux par eux découverts dans un délai de trois mois à dater de cette mise en vigueur, en ayant soin de faire d'abord constater régulièrement la découverte. S'ils laissent passer ce délai ou si la découverte du minéral n'a pu être dûment constatée, il ne sera donné aucune suite à la demande en concession.

6° Il sera statué sur les demandes en concession de mines présentées avant la mise en vigueur de la nouvelle loi d'après les dispositions de la loi du 16/28 juin 1870, mais les droits et obligations des concessionnaires sont fixés par la nouvelle loi.

BULLETIN.

LES RICHESSES MINÉRALES DE TERRE-NEUVE.

Par M. DE LAUNAY, Ingénieur des mines, Professeur à l'École supérieure des mines.

L'île de Terre-Neuve forme le prolongement des zones N.-E. — S.-O. de terrains primitifs et primaires, qui constituent, sur le continent canadien, le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse. Cette disposition se retrouve très nettement dans l'orographie du pays : lignes de côtes, fjords (*) et saillies montagneuses lui sont parallèles.

Tous les terrains qui composent le sol sont primitifs ou primaires (laurentien, précambrien, silurien, dévonien (?) et carbonifère).

Le laurentien, si largement développé au Canada et au Labrador, occupe également une partie de Terre-Neuve, où il forme deux chaînes principales : l'une allant de la baie de la Fortune au cap Frehel; l'autre, à l'Ouest, constituant le Petit-Nord et les Long-Ranges; on le trouve également sur une grande partie de la côte Sud.

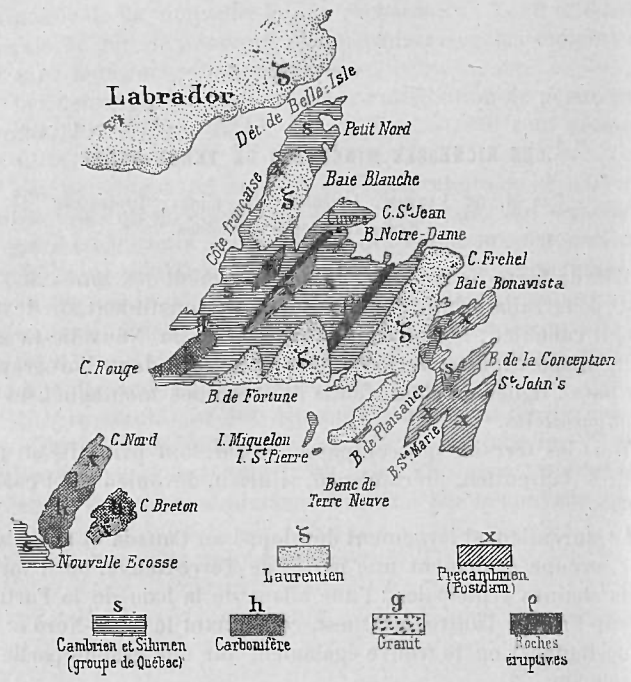
Au-dessus de ce laurentien, on trouve à l'Est (St-John's) des dépôts qualifiés de précambriens : quartzites avec bancs jaspeux, conglomérats rouges, schistes brun sombre avec des organismes problématiques (*Aspidella Terranovica*, *Arenicolites* cf. *spiralis*).

Puis viennent, en discordance, dans les îles de la baie de la Fortune, à Saint-Pierre et Miquelon, des grès rouges, conglomérats et quartzites avec trilobites du cambrien inférieur (Longmynd et Lingula).

D'autres terrains primaires, cambriens ou siluriens inférieurs, se retrouvent dans tout l'Ouest de l'île, traversés et métamorphisés par des roches diverses : diorites, porphyres, trapps, etc.

(*) Ces fjords des côtes Nord et Sud correspondent, en général, à d'anciens synclinaux où la mer a pénétré. (Suess, t. II, p. 49.)

Autour des gisements cuivreux de la baie Notre-Dame, cet étage est caractérisé par des bancs serpentineux et dolomitiques avec schistes chloriteux du groupe de Québec calcarifère (silurien inférieur).



Un peu de silurien moyen se rencontre dans les îles de la baie Blanche et de la baie Notre-Dame. Dans la première, il existe peut-être même du dévonien au cap Fox.

Enfin, à l'Ouest de Terre-Neuve, deux lambeaux de carbonifère discordants sur les terrains antérieurs se rattachent visiblement, à travers la baie du Saint-Laurent, aux terrains de même âge du Nouveau-Brunswick; le centre de ce bassin, qui s'est très anciennement affaissé, est occupé par le trias de l'île du Prince Edward.

La production minière de Terre-Neuve se compose, jusqu'ici, presque exclusivement de minerais de cuivre. En 1891, l'île a produit 7.100 tonnes de minerai de cuivre, 3.700 tonnes de régule, 1.150 tonnes de lingots de cuivre, le tout représentant sur place une valeur totale d'environ 3 millions de francs et correspondant à peu près à 4.500 tonnes de cuivre. En 1890, la production avait été à peine moitié de ce chiffre : 1.200.000 francs; mais, en 1888, elle avait dépassé 4 millions et, dans les années précédentes, on trouve, au milieu de fluctuations répétées, une année d'extraction maxima, 1877, avec 6.200.000 francs. Par cette production de cuivre, Terre-Neuve se place en bon rang parmi les États de second ordre, entre l'Italie et la Norvège.

Indépendamment du cuivre, on se contente d'extraire environ 20.000 tonnes de pyrite de fer valant 300.000 francs; à diverses reprises, l'île a produit, en outre, de faibles quantités de plomb et de nickel.

Cuivre. — Les mines de cuivre, découvertes depuis 1857, sont situées dans la baie Notre-Dame, au Nord de l'île. Là se trouvent les gisements de Tilt Cove (Union mine) exploités, depuis 1864, à environ 15 kilomètres du cap Saint-Jean, ceux de Bett's Cove ouverts depuis 1875, ceux de Little Bay, etc.

Les dépôts sont formés de grands amas, grossièrement interstratifiés, de pyrite de fer cuivreuse, ayant tenu, prétend-on, en moyenne, 12 p. 100 de cuivre (chiffre qui nous semble très exagéré). A la mine Bluff (Tilt Cove), qui peut nous servir de type, le gisement est encaissé dans des schistes chloriteux, très pyritisés, contenant des lits de dolomie et des traînées de serpentine avec grains de fer magnétique. Immédiatement au toit se présente une masse de diorite à veinules d'épidote; puis, vers le Nord, un dyke de serpentine. Au mur, on a des diorites, des schistes sombres et des bancs de jaspe rouge. L'amas métallifère, dont la constitution paraît rappeler très fort celle des gisements norvégiens (Röraas, Foldal, etc.), situés également dans les terrains primaires, renferme souvent des intercalations schisteuses et chloritiques. Comme en Norvège, on a tous les passages entre les amas pyriteux importants, dont le défaut est toutefois d'être toujours limités en profondeur et de ne donner lieu, par suite, qu'à des exploitations temporaires, et des schistes imprégnés de pyrite dans leur masse.

La mine de *Tilt Cove*, d'abord activement exploitée, a été à peu près abandonnée depuis quelques années; une nouvelle compagnie (Cape Copper Mining and Smelting C°) essaye de la reprendre.

La mine de *Bett's Cove*, également abandonnée aujourd'hui, a produit, en dix ans, de 1875 à 1885, 130.000 tonnes de minerai et de régule, avec 2.500 tonnes de pyrite de fer.

Parmi les mines les plus importantes actuellement, on doit

citer celle de *Little Bay*, exploitée depuis 1878 sans interruption (40.000 tonnes de minerai, régule, etc., depuis 1885); puis la South West Arm, la Hall's Bay, la Rabbitt's Arm, beaucoup moins importantes.

Dans cette dernière, par exception, on a eu affaire à des bandes de quartz pyritisé contenant parfois du cuivre gris argentifère. On peut également citer la présence d'un peu de cuivre natif aux affleurements de l'Union mine de Tilt Cove.

En dehors de ce centre principal, on a exploité, au siècle dernier, un peu de cuivre à Shoal Bay près de St-John's. Des indices de ce métal ont été, en outre, signalés en bien des points.

Pour les autres métaux encore inexploités, nous nous contenterons de quelques indications sommaires; il est probable cependant que le développement, devenu très rapide, de la colonisation et la création prochaine d'un réseau de chemin de fer permettront d'en mettre quelques-uns en exploitation.

Or. — Des traces d'or existent, comme c'est en bien des pays le cas fréquent, dans les amas pyriteux, dont quelques-uns sont exploités pour cuivre et, par un phénomène bien connu, un peu d'or libre s'est parfois isolé par métamorphisme à leurs affleurements. On en a signalé dans des mispickels de la baie de Bonavista, dans des quartz de la baie Conception, dans plusieurs des mines de cuivre de la baie Notre-Dame (à Tilt Cove, on en aurait retiré pour 200.000 francs); puis, ce qui peut présenter un intérêt spécial pour nous, dans le French Shore (côte française) réservé partiellement à la France par le traité d'Utrecht.

Cet or peut fournir un appoint à des travaux portant surtout sur le cuivre; il est peu vraisemblable qu'il donne lieu, à lui seul, à des exploitations bien importantes.

Plomb argentifère. — On a exploité, de 1857 à 1870, une mine de galène sur la baie de Plaisance (Placentia), au Sud de l'île; il s'agissait d'un filon de calcite avec quartz et un peu de barytine, filon d'environ un mètre de large encaissé dans les schistes et ayant fourni environ 2.400 tonnes de galène. D'autres gisements sont signalés à Silver Cliff Mine, sur le Little Placentia Sound et à Port au Port Bay, sur la côte Ouest, où le minerai incruste une brèche de calcaire carbonifère.

Antimoine. — Des gisements de ce métal existent en quelques points de la baie Notre-Dame.

Fer. — En outre des pyrites de fer exploitées dans les mines de cuivre de la baie Notre-Dame, le laurentien renferme plusieurs amas de magnétite, ainsi à Saint-Georges' Bay sur la côte Ouest et dans les Long Range Mountains (Petit-Nord). Comme mine de pyrite de fer dans la baie Notre-Dame, nous citerons celle de l'île *Pilley*, qui occupe plusieurs centaines d'hommes, est éclairée à la lumière électrique, etc. Les pyrites de fer ont un débouché facile aux États-Unis, où l'on n'en exploite guère et où l'on importe, pour la fabrication de l'acide sulfurique, de grandes quantités de soufre.

Nickel. — Le nickel existe, avec les sulfures complexes de la baie Notre-Dame et a été exploité un peu, jadis, à Tilt Cove.

Charbon. — Dans l'Ouest de l'île, il existe deux lambeaux importants de houiller, qui prolongent, au delà de la baie du Saint-Laurent, le bassin de la Nouvelle-Écosse et du Nouveau-Brunswick (produisant 2 millions de tonnes par an). Le charbon n'y est pas exploité; mais, en 1889, une exploration scientifique en a trouvé, en plusieurs points, particulièrement dans la région du Grand Lac. Ce charbon paraît se rapprocher du cannelcoal. La surface du sol étant généralement masquée par des alluvions glaciaires, les recherches y ont, d'ailleurs, été très incomplètes. En 1891, M. Howley, directeur du Geological Survey de Terre-Neuve, a conduit une exploration spéciale dans le bassin carbonifère de l'Humber Valley et a publié la coupe de ce terrain à Coal Brook; on a tenté quatre sondages de 80 mètres de profondeur sans trouver de couche importante. En 1892, des sondages du même genre, à Aldery Brook, ont traversé environ 4 mètres d'un charbon d'assez mauvaise qualité.

Amiante. — Depuis 1891, à la suite du développement de l'industrie de l'amiante au Canada et en raison de la rareté de cette substance, aujourd'hui très demandée, on l'a recherchée avec activité à Terre-Neuve, où se présente, notamment sur la côte Ouest, près de Port au Port Bay, le même système de roches serpentineuses à asbeste. Une exploitation a même été commencée en 1891; mais on n'en connaît pas encore le résultat.

Législation minière. — Au point de vue légal, les recherches de mines sont très facilitées à Terre-Neuve par le peu de surface encore occupée effectivement. Le régime est, d'après des notes inédites que veut bien nous communiquer M. Aguillon, le suivant :

« En terrains de propriété privée, la mine n'est pas séparée de la propriété du sol, conformément au principe fondamental du droit anglais.

« Dans les terrains de la couronne, c'est-à-dire les terrains vacants et sans maître, et non encore appropriés par des particuliers, toute personne peut rechercher des mines, moyennant une permission spéciale, une *licence*, à obtenir de l'administration.

« Tout explorateur nanti de cette licence peut se réserver, à la priorité de l'occupation ou de la demande, le droit exclusif de faire des recherches pendant un an dans un périmètre réservé de forme rectangulaire, d'une étendue d'un mille carré au plus (256 hectares).

« L'explorateur ne peut disposer des produits extraits que pour faire des essais.

« Il peut s'assurer le droit de jouissance pendant cinq ans de son périmètre, à charge par lui de faire chaque année une dépense utile en travaux de 4.000 francs au moins, et, la dernière année, de 14.000 francs au moins, le tout à peine de déchéance s'il ne se conforme pas, à un moment donné, à ces prescriptions.

« Si, au cours ou à l'expiration de ces cinq années, l'explorateur a dépensé 30.000 francs en travaux, il peut demander et obtenir la pleine propriété dudit périmètre sans aucune restriction ni condition pour l'avenir.

« L'explorateur ou l'exploitant peut, en outre du droit de recherche ou du droit de propriété sur la mine, obtenir le droit d'occuper ou la propriété d'une parcelle de 50 acres (20 hectares) pour des établissements superficiels.

« Ajoutons que l'on discute à Terre-Neuve la question de savoir si cette législation, faite plus spécialement pour les gîtes métalliques, s'appliquerait ou s'appliquera aux mines de houille. »

Bibliographie. — 1863. Rapport de la Commission géologique du Canada. (La Pl. I donne une carte géologique du Canada comprenant Terre-Neuve.)

1864-1893. Publications du Geological Survey of Newfoundland.

1874. J. Milne, Notes on the phys. Nature and Mineralogy of New-Foundland (Quart. Journ. geol. Soc., XXX, p. 722-745).

1892. Howley, Mineral Resources of Newfoundland.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ITALIE EN 1891 ET 1892.

Statistique de la production des mines en Italie, en 1891 et 1892.

NATURE DES PRODUITS	ANNÉE 1891				ANNÉE 1892			
	NOMBRE des mines en activité	PRODUCTION Quantité	PRODUCTION Valeur	Nombre d'ouvriers	NOMBRE des mines en activité	PRODUCTION Quantité	PRODUCTION Valeur	NOMBRE d'ouvriers
		tonnes	francs			tonnes	francs	
Minerais de fer	43	216.486	2.767.187	2.969	42	214.487	2.779.155	1.943
— de ferro-manganèse	»	»	»	»	1	4.692	41.598	72
— de manganèse	5	2.429	64.395	127	5	1.245	41.797	79
— de cuivre	28	53.059	2.899.334	2.050	16	102.497	2.761.442	2.324
— de zinc	114	120.685	12.790.605	10.352	101	129.731	13.610.491	11.572
— de plomb		30.233	5.984.231			33.310	5.695.489	
— d'argent	10	2.006	1.973.484	1.278	8	1.680	1.729.492	1.165
— d'or	20	7.749	466.378	440	17	6.412	473.482	348
— d'antimoine	27	782	393.219	357	9	691	228.360	308
Mercure (métallique)	11	330	1.782.000	574	11	325	1.527.500	612
Pyrite de fer	4	19.868	270.588	458	3	27.670	359.935	490
Combustibles minéraux	39	289.986	2.205.851	2.386	38	265.713	2.130.365	2.205
Soufre	611	395.398	44.295.456	35.813	689	418.535	39.221.665	36.909
Sel gemme	18	31.285	379.450	367	18	15.504	248.094	358
Sel de sources	2	9.258	266.948	139	2	8.247	192.277	151
Asphalte et bitume	10	28.180	678.900	719	13	34.580	840.920	673
Pétrole	10	4.155	348.100	251	7	2.548	754.500	367
Eaux minérales	1	3.586	28.335	7	1	2.334	24.614	8
Alumile	1	4.000	19.900	75	1	4.000	19.200	72
Acide borique	11	1.775	887.500	524	11	1.089	653.400	563
Borax	12	2.056	1.336.400	67	5	1.471	956.150	43
Graphite		2.415	32.963			1.645	18.800	
Total	977	1.322.131	79.890.796	58.453	1.001	1.308.384	74.301.819	60.252

Statistique de la production des usines minéralurgiques en Italie, en 1891 et 1892.

NATURE DES PRODUITS	ANNÉE 1891				ANNÉE 1892			
	NOMBRE des usines en activité	PRODUCTION Quantité	PRODUCTION Valeur	NOMBRE d'ouvriers	NOMBRE des usines en activité	PRODUCTION Quantité	PRODUCTION Valeur	NOMBRE d'ouvriers
		tonnes	francs			tonnes	francs	
Fonte	8	11.930	1.576.044	241	6	12.720	2.056.392	215
Fer	323	152.668	39.354.293	11.365	314	121.973	31.393.451	9.916
Acier		75.925	19.753.829			56.543	13.782.493	
Tôles étamées	»	»	»	»	1	320	160.000	109
Or	4	283.965 kg	834.199	167	4	330 kg	1.022.894	92
Plomb	1	18.500 t	5.698.000	900	1	22.000 t	5.720.000	816
Argent	1	37.400 kg	6.016.000			43.000 kg	6.407.000	
Mercure	4	390 t	1.782.000	60	3	325 t	1.527.500	60
Antimoine	1	218	188.570	98	1	315	269.114	32
Cuivre et alliages de cuivre	11	5.977	11.916.443	1.278	14	6.039	10.797.347	1.464
Soufre { raffiné	17	59.396	8.399.645	343	18	59.370	7.606.397	629
Soufre { en poudre	34	95.215	13.536.644	927	34	123.200	15.370.091	1.159
Sel marin	73	347.274	3.067.777	2.271	73	395.269	4.004.155	2.435
Sel de sources	2	9.258	266.918	139	2	8.217	192.277	151
Pétrole	4	813	372.212	55	5	1.573	772.474	65
Asphalte et bitume	3	9.375	330.100	133	3	9.270	392.850	186
Alun	7	1.029	100.400	103	7	1.695	180.230	70
Sulfate d'alumine		1.177	195.700			1.890	202.250	
Acide borique	11	1.775	887.500	524	11	1.089	653.400	563
Borax		2.056	1.336.400			1.474	956.150	
Agglomérés { de charbon minéral	10	626.150	18.916.900	534	11	592.419	17.692.903	540
Agglomérés { de charbon végétal	14	17.855	1.580.950	197	14	19.650	1.725.250	209
Gaz		138.589.647 m³	33.885.840			141.552.878 m³	34.148.187	
Gaz d'éclairage. Produits secondaires (coke, goudron, eaux ammoniacales)	142	408.957 t	13.922.747	3.328	141	441.899 t	14.180.642	3.447
Total	669	»	183.278.271	22.593	663	»	171.213.210	22.058

(*Extrait de la* Rivista del servizio minerario nel 1891 *et nel* 1892.)

ECOLE NATIONALE DES MINES BIBLIOTHÈQUE

STATISTIQUE
de l'Industrie minérale de la France.

TABLEAUX COMPARATIFS DE LA PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX, DES FONTES, FERS ET ACIERS, EN 1892 ET EN 1893 (*).

I. — Combustibles minéraux.

PRODUCTION PAR DÉPARTEMENT.

DÉPARTEMENTS	NATURE DU COMBUSTIBLE	PRODUITS 1892	PRODUITS 1893
		tonnes	tonnes
Allier	Houille	955.337	994.553
Alpes (Basses-)	Lignite	31.408	25.246
Alpes (Hautes-)	Anthracite	6.852	8.810
Ardèche	Houille et anthracite	46.849	41.293
Aveyron	Houille	920.615	900.553
	Lignite	3.482	3.413
Bouches-du-Rhône	Idem	402.513	404.886
Cantal	Houille	72.085	92.286
	Lignite	130	60
Corrèze	Houille	2.662	2.099
Côte-d'Or	Houille et anthracite	9.943	8.078
Creuse	Houille	204.916	203.000
Dordogne	Lignite	400	519
Drôme	Idem	566	418
Gard	Houille	2.014.074	1.965.487
	Lignite	23.121	33.675
Hérault	Houille et anthracite	209.827	205.383
	Lignite	337	303
Isère	Anthracite	158.201	156.030
	Lignite	962	1.220
Jura	Idem	»	45
Loire	Houille et anthracite	3.494.086	3.509.490
Loire (Haute-)	Houille	203.363	192.133
Loire-Inférieure	Anthracite	11.740	11.944
Lot	Houille	2.531	4.923
Maine-et-Loire	Anthracite	25.793	18.563
Mayenne	Idem	57.594	60.209
Nièvre	Houille	137.535	189.780
Nord	Houille et anthracite	4.637.316	4.885.824
Pas-de-Calais	Houille	9.801.547	8.959.595
Puy-de-Dôme	Houille et anthracite	252.219	259.247
Pyrénées-Orientales	Lignite	1.888	1.888
Rhône	Houille	40.920	40.397
	Idem	208.088	221.761
Saône (Haute-)	Lignite	9.647	8.582
Saône-et-Loire	Houille et anthracite	1.755.648	1.737.244
Sarthe	Anthracite	13.141	12.362
Savoie	Idem	18.648	12.055
Savoie (Haute-)	Idem	30	15
Sèvres (Deux-)	Houille	20.945	17.990
Tarn	Idem	387.945	514.229
Var	Lignite	1.776	4.050
Vaucluse	Idem	4.330	3.470
Vendée	Houille	26.843	24.398
Vosges	Lignite	908	567
Récapitulation	Houille et anthracite	25.697.233	25.249.731
	Lignite	481.468	488.342
Totaux		26.178.701	25.738.073
Diminution			440.628

(*) Ces tableaux ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal officiel* du 1er mars 1894. Les chiffres concernant l'année 1893 sont extraits des états *semestriels* fournis par les Ingénieurs des mines et, par suite, *provisoires*; tandis que la statistique de 1892, résultant du dépouillement des états *annuels*, contient des chiffres *définitifs*.

PRODUCTION PAR BASSIN.

GROUPES GÉOGRAPHIQUES DE BASSINS	PRODUITS 1892 tonnes	PRODUITS 1893 tonnes	BASSINS ÉLÉMENTAIRES (*)	DÉPARTEMENTS OÙ LES BASSINS SONT SITUÉS	PRODUITS 1892 tonnes	PRODUITS 1893 tonnes
I. — Houille et Anthracite.						
Nord et Pas-de-Calais. .	14.438.863	13.845.419	Valenciennes.	Pas-de-Calais, Nord	14.435.855	13.842.889
			Le Boulonnais (Hardinghen). . . .	Pas-de-Calais	3.008	2.530
Loire	3.543.121	3.552.687	Saint-Etienne (et Rive-de-Gier). .	Loire, *Rhône*	3.493.350	3.509.278
			Sainte-Foy-l'Argentière	Rhône	40.920	40.397
			Communay.	Isère	8.115	2.800
			Le Roannais (Roanne)	Loire, *Rhône*	736	212
Gard	2.060.923	2.006.780	Alais	Gard, Ardèche.	2.024.213	1.971.689
			Aubenas	Ardèche	30.828	28.310
			Le Vigan.	Gard	5.882	6.781
Bourgogne et Nivernais.	1.946.124	1.966.954	Creusot et Blanzy.	Saône-et-Loire.	1.575.620	1.562.446
			Decize	Nièvre	137.535	189.780
			Epinac et Aubigny-la-Ronce. . .	Saône-et-Loire, Côte-d'Or	121.922	117.739
			La Chapelle-sous-Dun	Saône-et-Loire	60.473	58.626
			Bert.	Allier	42.998	31.852
			Sincey, *Forges*.	Côte-d'Or, *Saône-et-Loire*	7.576	6.511
Tarn et Aveyron.	1.311.091	1.419.705	Aubin.	Aveyron	906.068	886.881
			Carmaux.	Tarn	387.945	514.229
			Rodez.	Aveyron.	14.547	13.672
			Saint-Perdoux.	Lot	2.531	4.923
Bourbonnais.	1.105.739	1.166.701	Commentry (et Doyet)	Allier.	874.177	916.301
			Saint-Eloy	Puy-de-Dôme	193.400	204.000
			L'Aumance (Buxière-la-Grue). . .	Allier	38.162	46.400
			La Queune (*Fins et Noyant*) . . .	*Allier*.	»	»
Auvergne.	334.267	339.666	Brassac.	Haute-Loire, Puy-de-Dôme.	211.447	200.425
			Champagnac et Bourg-Lastic . . .	Cantal, Puy-de-Dôme.	109.900	122.139
			Langeac	Haute-Loire	12.920	17.102
Vosges méridionales . .	208.088	221.761	Ronchamp	Haute-Saône.	194.981	191.000
Hérault.	209.827	205.383	Graissessac, *Roujan*.	Hérault.	9.935	12.000
			Ahun.	Creuse	208.088	221.761
Creuse et Corrèze. . . .	207.578	205.099	Bourganeuf	Creuse	209.827	205.383
			Meymac et Argental, Cublac (Terrasson).	Corrèze, *Dordogne*.	2.662	2.099
Alpes occidentales. . .	175.586	174.110	Le Drac (la Mure)	Isère	149.759	152.630
			Maurienne-Tarentaise et Briançon	Hautes-Alpes, Savoie.	25.470	20.865
			Oisans et *le Grésivaudan*	Isère	307	600
			Chablais et Faucigny.	Haute-Savoie	30	15
Ouest	156.026	145.466	Le Maine.	Mayenne, Sarthe	70.705	72.571
			Basse-Loire	Loire-Inférieure, Maine-et-Loire.	37.533	42.388
			Vouvant et Chantonnay.	Deux-Sèvres, Vendée.	47.788	30.507
			Le Cotentin (*le Plessis*).	*Manche*	»	»
Les Maures	»	»	*Saint-Pierre-la-Cour*.	*Mayenne*	»	»
Les Pyrénées	»	»	*Les Maures* (*Fréjus*).	*Var, Alpes-Maritimes*.	»	»
			Ibanlelly, Durban et Ségure	*Basses-Pyrénées, Aude*.	»	»
Totaux pour les houilles.	25.697.233	25.249.731	. . . . .	. . . . .	25.697.233	25.249.731
II. — Lignite.						
Provence.	435.697	434.182	Fuveau (Aix).	Bouches-du-Rhône, *Var*	403.219	407.835
			Manosque	Basses-Alpes, *Vaucluse*	31.408	25.246
			La Cadière.	Var.	1.070	1.101
Comtat	27.055	36.064	Bagnols, Orange, *Banc-Rouge, Vaqnas*.	Gard, Vaucluse, *Ardèche*	23.052	33 183
			Barjac et Célas	Gard.	3.018	2.292
			Méthamis.	Vaucluse.	985	589
			Montoulieu	*Hérault*	»	»
Vosges méridionales . .	10.555	9.149	Gouhenans, *Gémonval*.	Haute-Saône.	9 647	8 582
			Norroy	Vosges	908	567
			Millau et Trévezel.	Aveyron, Gard.	3.878	4.494
Sud-Ouest	6.633	7.264	Estavar, *Larquier, St-Lon, Orignac*.	Pyrénées-Orientales. *Landes, Hautes-Pyrénées*	1.888	1.888
			Simeyrols et *la Chapelle-Péchaud*.	Dordogne.	400	519
			La Caunette	Hérault, *Aude*.	337	303
			Murat.	Cantal	130	60
Haut-Rhône	1.528	1.683	La-Tour-du-Pin.	Isère	962	1.220
			Hauterives, *Montélimar*.	Drôme	566	418
			Vercia, *Douvres*.	Jura, *Ain*.	»	45
			Entrevernes et Chambéry.	*Haute-Savoie, Savoie*.	»	»
Totaux pour les lignites.	481.468	488.342	. . . . .	. . . . .	481.468	488.342
Totaux généraux. .	26.178.701	25.738.073	. . . . .	. . . . .	26.178.701	25.738.073

(*) Les bassins dont les mines n'ont pas été exploitées, et les départements correspondants, ont leurs noms en *italiques*.

II. — Industrie sidérurgique.

PRODUCTION DES FONTES.

DÉPARTEMENTS	DÉSIGNATION de LA FONTE suivant la nature du combustible	1892			1893		
		FONTES		PRODUCTION totale	FONTES		PRODUCTION totale
		d'affinage	de moulage et moulée en 1re fusion		d'affinage	de moulage et moulée en 1re fusion	
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	Au coke	23 331	9.171	32.705	22.591	5.243	27.834
Ardèche	Au coke	26 376	2.838	29.214	16.841	1 073	17.914
Ariège	Au coke	9.806	»	9.806	10.144	»	10.144
Aveyron	Au coke	9.335	»	9.335	10.705	390	11.095
Bouches-du-Rhône	Au coke	10 719	7.944	18.663	9.444	2.099	11.543
Cher	Mixte	»	10.800	10.800	»	13.839	13.839
Dordogne	Au bois	150	»	150	110	»	110
Gard	Au coke	48 625	3 408	52.033	45 824	2.977	48.801
Isère	Au coke	21.379	42	21.421	34.153	59	34.212
Landes	Au coke	58.176	6.000	67.717	62.537	5 800	70 991
	Au bois	1.859	1.682		904	1.750	
Loire	Au coke	21.468	»	21.468	21.401	589	21.990
Loire-Inférieure	Au coke	46.568	17.420	63.988	49 404	10.631	59.735
Lot-et-Garonne	Au coke	»	17 760	17.760	1.268	14.615	15 883
Marne (Haute-)	Au coke	29.504	27 427	60.760	25.645	28.491	57.982
	Au bois	1.744	30		1.324	28	
	Mixte	»	2.055		»	2.494	
Meurthe-et-Moselle	Au coke	890 947	322.196	1.213.143	828.732	387.073	1.215.805
Nord	Au coke	229 978	»	229.978	235.280	»	235.280
Pas-de-Calais	Au coke	77.346	»	77 346	78.597	»	78.597
Pyrénées-Orientales	Au bois	5.230	»	5 230	1.665	»	1.665
Rhône	Au coke	12.969	3 163	16.132	12.195	2.940	15.135
Saône (Haute-)	Au bois	1.607	64	1 671	319	25	344
Saône-et-Loire	Au coke	92.338	»	92.338	80.495	»	80.495
Tarn	Au coke	4.113	1.487	5.600	1.853	1.320	3.173

RÉCAPITULATION.

Fonte	Au coke	1.613.181	418.856	2.032.037	1 546.809	463.300	2.010.109
	Au bois	10.590	1.776	12.366	4.322	1.803	6.125
	Mixte	»	12.855	12.855	»	16.333	16.333
Totaux		1.623 771	433.487	2.057.258	1.551.131	481.436	2.032.567
Augmentation					»	47.949	»
Diminutions					72.640	»	24.691

PRODUCTION DES FERS.

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DU FER	1892				1893			
		RAILS	FERS marchands et spéciaux	TÔLES	PRODUCTION totale	RAILS	FERS marchands et spéciaux	TÔLES	PRODUCTION totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	Puddlage	190	19.316	9.492	30.593	101	18.449	6.853	26.703
	Affinage au charbon de bois	»	1.600	»		»	1.300	»	
Ardennes	Puddlage	»	50.444	11.307	78.781	»	49.191	5.631	74.932
	Affinage au charbon de bois	»	»	»		»	25	»	
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	13.962	3.068		»	17.251	2.834	
Ariège	Puddlage	»	4.629	»	6.865	»	4.262	»	7.682
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	2.236	»		»	3.420	»	
	Puddlage	»	3.129	»	1.177	99	3.821	»	4.278
Aube	Affinage au charbon de bois	»	138	»		»	269	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	910	»		»	89	»	
Aveyron	Puddlage	18	5.068	503	10.156	433	6.681	313	11.549
	Réchauffage de vieux fers et riblons	159	3.708	700		223	3.359	537	
Bouches-du-Rhône	Puddlage	»	776	»	776	»	843	»	843
	Affinage au charbon de bois	»	3.885	1 200	7.755	»	3.699	»	5.777
Côte-d'Or	Réchauffage de vieux fers	»	980	»		»	449	»	
		»	1.690	»		»	1.165	464	

PRODUCTION DES FERS (*suite*).

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DU FER	1892 RAILS	1892 FERS marchands et spéciaux	1892 TÔLES	1892 PRODUCTION totale	1893 RAILS	1893 FERS marchands et spéciaux	1893 TÔLES	1893 PRODUCTION totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Côtes-du-Nord	Puddlage	»	332	»	3.974	»	355	»	2.319
	Réchauffage de vieux fers	»	3.642	»		»	1 964	»	
Dordogne	Puddlage	»	410	»	2.355	»	500	»	3.420
	Affinage au charbon de bois	»	175	»		»	320	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	1.770	»		»	2.600	»	
Doubs	Affinage au charbon de bois	»	1.971	816	9.357	»	2.694	979	5.700
	Réchauffage de vieux fers	»	5.646	924		»	1.241	786	
Eure	Réchauffage de vieux fers	»	4.911	»	4.911	»	4.712	»	4.712
Gard	Puddlage	41	9.544	»	9 585	12	10.112	»	10.124
Garonne (Haute-)	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	4.966	»	4.966	»	4.732	»	4.732
Ille-et-Vilaine	Réchauffage de vieux fers	»	91	»	91	»	35	»	35
Isère	Puddlage	»	76	»	3.680	»	56	»	3.436
	Réchauffage de vieux fers	»	3.604	»		»	3.380	»	
Jura	Puddlage	»	7.760	3.570	12.418	6	11.474	3.466	17 318
	Affinage au charbon de bois	»	118	»		»	150	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	560	410		»	1.719	503	
Landes	Puddlage	»	214	»	4.345	»	480	»	4.566
	Affinage au charbon de bois	»	453	»		»	733	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	3.678	»		»	3 353	»	
Loire	Puddlage	»	19.976	8.684	33.628	»	18.580	10.633	33.923
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	4.968	»		»	4.710	»	
Loire-Inférieure	Puddlage	»	4.141	535	10.015	»	2.800	432	7.492
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	5.339	»		»	4.260	»	
Lot-et-Garonne	Puddlage	»	350	»	350	»	140	»	140
Marne (Haute-)	Puddlage	»	50.972	4.514	64.303	»	56.869	3.946	69.751
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	8.768	49		»	8.864	72	
Meurthe-et-Moselle	Puddlage	»	39.933	6.220	47.410	»	41.445	7.406	49.933
	Réchauffage de vieux fers	»	1.257	»		»	1.082	»	
Meuse	Puddlage	»	5.129	»	5 979	»	6.247	»	6.947
	Réchauffage de vieux fers	»	850	»		»	700	»	
Nièvre	Puddlage	»	2.864	»	10.700	»	2.882	»	7.987
	Affinage au charbon de bois	»	1.053	79		»	2.753	110	
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	6.704	»		»	2.242	»	
Nord	Puddlage	»	233.778	49.977	293.755	»	274.800	51.775	326.875
Oise	Puddlage	»	8.928	1.431	10.587	»	11.619	2.562	14.467
	Affinage au charbon de bois	»	»	226		»	»	286	
	Réchauffage de vieux fers	»	402	»		»	»	»	
Orne	Réchauffage de vieux fers	»	11	»	11	»	12	»	12
Pyrénées-Orientales	Affinage au charbon de bois (foyers catalans)	»	198	»	198	»	122	»	151
	Réchauffage de vieux fers	»	»	»		»	29	»	
Rhône	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	14	»	14	»	18	»	18
Saône (Haute-)	Affinage au charbon de bois	»	4	205	209	»	3	113	116
	Puddlage	»	77.079	6.400		»	79.761	5.826	
Saône-et-Loire	Affinage au charbon de bois	»	»	10	83.496	»	»	4	85.591
	Réchauffage de vieux fers	»	2	5		»	»	»	
Sarthe	Affinage au charbon de bois et réchauffage	»	17	»	17	»	13	»	13
Savoie	Affinage au charbon de bois	»	34	»	34	»	21	»	39
	Réchauffage de vieux fers	»	»	»		»	18	»	
Savoie (Haute-)	Affinage au charbon de bois	»	59	»	2.226	»	90	»	2.019
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.170	997		»	1.127	802	
Seine	Réchauffage de vieux fers	»	30.726	»	30.726	»	28.002	»	28.002
Seine-Inférieure	Réchauffage de vieux fers	»	91	»	91	»	112	»	112
Seine-et-Oise	Réchauffage de vieux fers	»	2.456	»	2.456	»	2.280	»	2.280
Somme	Puddlage	»	420	»	3.234	»	656	»	3.313
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	2 814	»		»	2.657	»	
Tarn	Puddlage	»	2.094	»	3.649	»	1 500	»	2.637
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.555	»		»	1.137	»	
Vosges	Affinage au charbon de bois	»	»	223	223	»	»	190	190
Yonne	Réchauffage de vieux fers	»	18	»	18	»	17	»	17

RÉCAPITULATION.

Fer	Puddlé	249	590.121	103.833	694.203	651	606.382	98.843	705.876
	Affiné au charbon de bois	»	7.150	1.559	8.709	»	8.929	1.682	10.611
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	159	119.295	6.153	125.607	223	107.143	5.998	113.364
	Totaux	408	716.566	111 545	828.519	874	722.454	106 523	829.851
	Diminution					»	»	5 022	»
	Augmentations					466	5.888	»	1.332

OBSERVATION. — Les fers bruts ou massiaux transformés en produits marchands dans des départements autres que ceux où ils ont été fabriqués ne figurent pas sur le tableau, afin d'éviter un double emploi.

PRODUCTION DES ACIERS.

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DE L'ACIER.	1892 — PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS — Rails	Aciers marchands	Tôles	Production totale	1892 — PRODUCTION des lingots Bessemer et Siemens-Martin	1893 — PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS — Rails	Aciers marchands	Tôles	Production totale	1893 — PRODUCTION des lingots Bessemer et Siemens-Martin
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Aisne	Fusion au foyer Bessemer	»	»	811	811	»	»	»	800	800	»
	Fusion au four Siemens-Martin	40	21.060	»		21.730	40	24.034	»		29.592
Allier	Puddlage	»	2.303	3.187	27.200	»	»	50	3 599	28.403	»
	Cémentation	»	40	»		»	»	40	»		»
	Fusion au creuset	»	570	»		»	»	640	»		»
	Fusion au foyer Bessemer	»	9.838	10.736		»	»	9.989	10.262		»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	2 987		3.496	»	69	4.748		5.690
Ardennes	Cémentation	»	13	»	23.777	»	»	11	»	25.831	»
	Fusion au creuset	»	203	»		»	»	168	»		»
	Réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	»	34	550		»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	1.424	»		3.251	»	2.033	»		3.723
	Puddlage	»	687	»		»	»	541	»		»
Ariège	Cémentation	»	119	»	2.298	»	»	40	»	2.655	»
	Fusion au creuset	»	68	»		»	»	13	»		»
	Réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	»	28	»		»
Aube	Fusion au foyer Bessemer	»	3.300	»	3.300	»	»	2.858	»	2.858	»
Charente	Fusion au foyer Bessemer	»	177	»	177	»	»	280	»	280	»
	Fusion au foyer Bessemer	»	2.812	»		»	»	30	35		»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	255		»	»	75	30		»
Côte-d'Or	Puddlage	»	»	»	3.252	»	»	3.093	130	3.531	»
	Cémentation	»	100	»		»	»	72	1		»
	Fusion au creuset	»	85	»		»	»	60	5		»
Côtes-du-Nord	Réchauffage de vieil acier	»	18	»	18	»	»	»	»	»	»
Doubs	Fusion au foyer Bessemer	»	2 300	»	10.596	»	»	4.900	2.274	10.276	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	5.360	2.936		9.220	»	3.102	»		3 870
Gard	Fusion au foyer Bessemer	21 687	17	»		26.302	20.783	90	»		24.952
	Fusion au four Siemens-Martin	1.424	13.345	»	33.173	17.610	136	12.712	»	33.739	17.098
	Réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	»	18	»		»

Isère	Fusion au foyer Bessemer	»	29	»	5.612	5.959	»	»	»	»	85
	Fusion au four Siemens-Martin	»	3.122	»		»	»	3.475	»		6.556
	Puddlage	»	1.577	»		»	»	1.346	»	5.677	»
	Cémentation	»	293	»		»	»	296	»		»
	Fusion au creuset	»	591	»		»	»	187	»		»
Jura	Fusion au foyer Bessemer	»	7.880	»	13.280	»	»	4.730	»	13.431	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.020	3.380		6.000	»	5.877	2.824		7.310
Landes	Fusion au foyer Bessemer	35.694	5.048	»	47.554	45.690	29.069	7.529	»	43.566	42.974
	Fusion au four Siemens-Martin	»	6.812	»		9 531	770	4.505	1.693		9.578
Loire	Fusion au foyer Bessemer	»	»	»		»	»	1.904	242		»
	Fusion au four Siemens-Martin	271	30.582	11.463		58.417	219	26.780	13.095		51,776
	Puddlage, affinage au charbon de bois	»	2.541	»	58.151	»	»	2.403	»	56.127	»
	Cémentation	»	534	»		»	»	831	»		»
	Fusion au creuset	»	8.221	145		»	»	7.722	210		»
	Réchauffage de vieil acier	»	4.392	»		»	»	2.691	»		»
Loire-Inférieure	Fusion au foyer Bessemer	15.284	45	»	27.998	20.915	11.121	4.031	»	25.344	15.204
	Fusion au four Siemens-Martin	»	5.994	6.675		19.421	»	3 238	6.954		13.710
Marne (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	20.759	773	26.389	»	»	17.099	867	22.667	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	4.857	»		5.457	»	4.701	»		7.314
Meurthe-et-Moselle	Fusion au foyer Bessemer (procédé Thomas)	42.389	19.333	3.966		201.939	51.012	35.803	3.803		221 649
	Fusion au four Siemens-Martin	»	1.015	2.772	70.047	7.712	»	1.708	3.597	100.166	10.634
	Puddlage	»	915	320		»	»	921	322		»
	Fusion au creuset	»	7	»		»	»	»	»		»
Meuse	Fusion au foyer Bessemer (procédé Thomas)	»	2.568	»	7.014	4.815	»	2.453	»	7.075	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	4.446	»		»	»	4.622	»		5.009
Morbihan	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	11.260	11.260	17.054	»	»	10.706	10.706	15.717
	Puddlage	19	18.663	678		20.676	45	14.494	700		16.859
Nièvre	Fusion au creuset	»	52	»	21.087	»	»	180	»	16.999	»
	Réchauffage de vieil acier	»	455	»		»	»	565	»		»
	Fusion au foyer Bessemer	»	762	458		»	»	620	395		»
Nord	Fusion au four Siemens-Martin	49.481	30.450	5 365		104.511	49.820	31.400	3.600		105.610
	Fusion au creuset	»	14.033	23.996	123.535	50.449	»	12.790	13.605	111.510	40.804
Oise	Fusion au foyer Bessemer	»	210	»		»	»	295	»		»
	Fusion au four Siemens Martin	»	18.098	»	20.531	»	»	16.847	»	20.704	»
Pas-de-Calais	Fusion au foyer Bessemer	»	361	2.072		981	»	669	3.188		5.030
Rhin (Haut-) (Territoire de Belfort)	Fusion au four Siemens-Martin	57.620	4.428	»	62.048	75.045	49.802	5.263	»	55.065	67.823
Rhône	Fusion au four Siemens-Martin	»	4.032	»	4.032	4.530	»	3.845	»	3.845	4.320
	Réchauffage de vieil acier	»	85	»	85	»	»	62	»	64	»
Saône (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	»	»		»	»	2	»		»
	Réchauffage de vieil acier	»	2	1.100	1.167	»	»	1	960	1.022	»
Saône-et-Loire	Fusion au foyer Bessemer	»	»	65		»	»	»	61		»
	Fusion au four Siemens-Martin	6.239	12.475	19.052	66.158	41.238	2.174	15 261	18.985	56.683	40.061
Savoie	Fusion au four Siemens-Martin	»	16 042	12.350		43.504	»	8 876	11.387		30.142
	Fusion au foyer Bessemer	»	117	»	117	»	»	109	»	109	»
Savoie (Haute-)	Fusion au four Siemens-Martin	»	513	»	513	»	»	»	375	375	»

PRODUCTION DES ACIERS (*suite*).

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DE L'ACIER	1892				1893					
		PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS				PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS				PRODUCTION des lingots Bessemer et Siemens-Martin	
		Rails	Aciers marchands	Tôles	Production totale	Rails	Aciers marchands	Tôles	Production totale		
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	
Seine	Fusion au foyer Bessemer	»	1.295	»		»	1.846	»		»	
	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.574	»	3.899	»	2.864	»	4.767	»	
	Cémentation	»	1	»		»	1	»		»	
	Fusion au creuset	»	29	»		»	56	»		»	
Sèvres (Deux-)	Réchauffage de vieil acier	»	60	»	60	»	»	»	»	»	
	Puddlage	»	1.317	»		»	1.382	»		»	
Tarn	Cémentation	»	925	»	2.658	»	955	»	2.740	»	
	Fusion au creuset	»	916	»		»	1.103	»		»	
Vosges	Fusion au foyer Bessemer	»	»	1.670	1.670	»	»	1.650	1.650	»	

RÉCAPITULATION.

Acier	Fondu au foyer Bessemer	228.394	141.367	42.773	412.534	515.640	216.781	162.387	43.478	422.646	518.361
	Fondu au four Siemens-Martin	1.454	155.944	80.826	238.224	309.816	1.240	140.640	72.909	214.789	284.702
	Puddlé et de forge	»	9.622	3.507	13.129	»	»	9.916	4.051	13.967	»
	Cémenté	»	1.385	»	1.385	»	»	1.516	»	1.516	»
	Fondu au creuset	»	11.355	145	11.500	»	»	11.109	215	11.324	»
	Obtenu par réchauffage de vieil acier	»	5.232	523	5.755	»	»	3.393	1.006	4.399	»
	Totaux	229.848	324.906	127.774	682.627	825.486	218.021	328.991	121.653	668.665	803.063
	Augmentation						»	4.086	»	»	»
	Diminutions						11.827	»	6.121	13.862	22.423

La production des lingots ne correspond pas exactement à celle des aciers ouvrés Bessemer et Martin, car il y a lieu de tenir compte des variations [illegible]

REVUE
DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE
PNEUMATIQUE

Par M. Ed. SAUVAGE, Ingénieur des mines, Professeur à l'École nationale supérieure des mines.

1. Introduction. — Les *Annales des mines* ont publié, à diverses reprises, des revues consacrées aux sciences naturelles ou à l'art de l'ingénieur. Je rappellerai la *Revue de mécanique appliquée*, donnée par M. Haton de la Goupillière à la suite de l'exposition de 1878 (7e série, t. XVI, p. 5); celle que j'ai récemment rédigée (8e série, t. XVII, p. 403; t. XVIII, p. 475; t. XX, p. 409). Il ne paraît pas utile de renouveler fréquemment ces examens généraux de l'ensemble du sujet, en ce qui concerne la mécanique : on n'éviterait guère de fastidieuses répétitions. Nous nous limiterons aujourd'hui à l'étude, faite avec quelque détail, d'une branche spéciale de l'art de l'ingénieur, la *Pneumatique*, sommairement traitée dans le chapitre XII de notre revue précitée : sous ce titre, nous examinerons l'écoulement et la mise en mouvement des gaz, au moyen de cheminées et de ventilateurs; leur compression; l'emploi des gaz comprimés ou raréfiés.

Tant de publications ont été consacrées à la pneumatique qu'on hésite d'abord à en grossir le nombre; mais la multiplicité même des ouvrages justifie le résumé des

théories qu'ils exposent, et de récents travaux méritent d'être signalés à nos lecteurs.

Nous donnerons la liste des sujets traités dans les divers paragraphes de notre étude :

§§ 2. Bibliographie.
3. Notations.
4. Tracé des courbes de détente.
5. Formule générale du mouvement permanent des gaz.
6. Écoulement par un orifice.
7. Frottements des gaz.
8. Mouvement dans une conduite.
9. Tuyauterie d'air comprimé.
10. Conduites de gaz d'éclairage.
11. Circulation de l'air dans les galeries de mines.
12. Tirage des cheminées.
13. Passage des gaz dans les tubes de chaudières.
14. Ventilateurs à force centrifuge.
15. Principes des machines à piston.
16. Ventilateurs rotatifs, assimilables en principe à des machines à piston.
17. Machines soufflantes.
18. Compresseurs.
19. Moteurs à air comprimé.
20. Transmissions par l'air comprimé.
21. Machines pneumatiques.
22. Transmissions par l'air raréfié.

Nous laissons de côté deux chapitres importants de la pneumatique, l'un relatif à l'emploi de la puissance motrice du vent, l'autre aux appareils fonctionnant par entraînement de l'air ou des gaz. La puissance motrice du vent est recueillie par les *moulins* et les *panémones*, mais c'est surtout la navigation à voiles qui nous en présente une application grandiose. Les appareils à entraînement direct sont d'une importance capitale dans la locomotive, où l'*échappement* permet une combustion active; les *souffleurs*, les *aspirateurs*, fonctionnant par la vapeur ou l'air comprimé, ont bien des applications utiles.

2. Bibliographie. — Nous ne chercherons pas à dresser une liste complète des mémoires consacrés aux diverses parties de la pneumatique : nous nous contenterons de signaler certaines publications spécialement intéressantes et de renvoyer à quelques ouvrages contenant des indications bibliographiques. C'est ainsi que les notes des chapitres XV à XXI du *Cours de machines* de M. Haton de la Goupillière, consacrés à la pneumatique, mentionnent de nombreuses sources originales. L'intéressante encyclopédie de Rühlmann, *Allgemeine Maschinenlehre* (vol. IV, p. 543), l'*Air comprimé ou raréfié* de Gouilly (Enc. Léauté) contiennent de fréquentes indications de ce genre. Le récent travail de A. von Ihering, *Die Gebläse* (1893), se termine par une longue liste bibliographique.

Parmi les ouvrages généraux, citons encore le beau travail de Pernolet, l'*Air comprimé;* le *Traité élémentaire de l'air comprimé*, par Costa.

Les indications qui suivent se rapportent plus spécialement aux divers paragraphes de notre étude.

§ 3. *Unités et étalons*, par Ch.-Ed. Guillaume (Enc. Léauté).

§ 4. *Tracé des courbes.* Voir la note de M. M. d'Ocagne sur la *Nomographie*, dans la *Revue générale des sciences*, 30 septembre 1891, page 604.

§ 5. L'*Équation générale de l'écoulement des gaz* est établie dans un grand nombre d'ouvrages : nous citerons entre autres la *Théorie mécanique de la chaleur* par Zeuner, le *Cours de machines* de M. Haton de la Goupillière, l'*Hydraulique* de M. Ed. Collignon, la *Nouvelle mécanique industrielle* de Pochet (p. 254), la *Théorie des machines motrices* par Reech, la *Théorie mécanique de la chaleur* par Combes, la *Thermodynamique à l'usage des ingénieurs* de M. Witz (p. 163), l'*Hydraulique* de M. Flamant.

§ 6. M. Haton de la Goupillière a traité à fond, dans

son *Cours de machines* et dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (octobre 1886) l'écoulement varié des gaz ; il a déterminé la durée du remplissage et de la vidange des réservoirs d'air comprimé.

Le même auteur analyse, dans son *Cours de machines* (t. I, p. 460), les travaux dus à Wantzel, de Saint-Venant, Hugoniot.

L'*Exposé de la situation de la mécanique appliquée*, fait en 1867 par MM. Combes, Phillipps et Collignon, renferme quelques lignes sur l'écoulement des gaz (p. 128). Dans son *Rapport sur les progrès de la thermodynamique en France* (1867), M. Bertin cite les recherches de M. Dupré sur le même sujet (p. 76).

§ 7. Sur l'effet du *frottement* dans l'écoulement adiabatique par un orifice, consulter Zeuner, ouvrage cité, 2e éd. française, p. 163.

§ 8. Sur le *mouvement dans les conduites*, voir d'Aubuisson, *Traité d'hydraulique* et *Annales des mines*, 2e s., t. III ; Koch, *Einige Versuche und Beobachtungen*, etc. (1828), *Studien des Göttingischen Vereins ;* Grashof, études théoriques, dans la *Zeitschrift des Ver. d. Ing.*, t. VII, p. 243 et autres, études traduites dans la *Revue de Cuyper* (t. XXVII, p. 51, 387 et 461, et XXX, p. 402). M. Combes est auteur d'un *Mémoire sur le mouvement de l'air dans les conduites*, où il a étudié l'effet de la pesanteur quand la conduite est inclinée.

§ 9. Les *tuyauteries d'air comprimé* ont été l'objet de récentes expériences, rapportées par M. Ledoux dans les *Annales des mines*, 9e s., t. II, p. 541. Le résumé de M. Ledoux est accompagné d'abaques qui simplifient les calculs. Les recherches de Stockalper sont données dans la *Revue de Cuyper*, 2e s., t. VII, p. 225. M. Lorenz a comparé diverses expériences dans la *Zeitschrift des V. d. I.*, t. XXXVI, p. 621 et 835.

§ 10. L'*Étude* de M. Arson *sur le mouvement du gaz*

d'éclairage dans les conduites a paru dans les *Mémoires de la Société des ingénieurs civils en* 1867; la *Physique industrielle* de Ser et l'*Hydraulique* de M. Flamant donnent des tables extraites de ce travail.

§ 11. Le *mouvement de l'air dans les galeries de mines*, étudié par M. Devillez dans la *Ventilation des mines*, est l'objet d'un important mémoire de M. Murgue, publié dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, 1893, p. 575, et aussi dans celui de la *Société de l'industrie minérale*.

§ 12. La *Physique industrielle* de Ser donne des coefficients pour calculer la section des diverses parties d'une cheminée.

§ 13. L'*Étude sur la vaporisation des chaudières de locomotives*, par M. A. Henry, a été publiée dans le t. II du *Compte rendu du Congrès international des chemins de fer en* 1889 (XII, p. 235).

§ 14. Sur les *ventilateurs*, on consultera utilement : l'*Essai sur les machines d'aérage*, de M. Murgue (*Bul. de la Soc. de l'ind. min.*, 2e s., t. II, p. 445; t. IV, p. 747; t. IX, p. 5, et t. XV, p. 81); le *Compte rendu des expériences de la Commission du Gard* (*Ibid.*, 2e s., t. VII, p. 477 et 713); la traduction du travail de la *Commission du Nord de l'Angleterre* (*Ibid.*, 2e s., t. XIII, p. 673), l'enquête de la *Commission prussienne du grisou*, dont le rapport a été traduit dans le *Bulletin de la Soc. de l'ind. min.* (t. III, 1889, p. 5); les observations américaines, dans les *Trans. of the am. Inst. of mining eng.*, juin-oct. 1891, p. 637, et *Engineering*, 1892, 1er sem., p. 303, 366 et 511; les expériences faites à Anzin sur le ventilateur Ser (*Bull. de la Soc. de l'ind. min.*, 2e s., t. XV, p. 89); le *Traité de physique industrielle* de Ser, t. I; les *Considérations sur les turbo-machines*, par M. Rateau (*Ibid.*, t. VI, 1892); *die Wetter-Maschinen*, par J.-R. von Hauer; ce dernier ouvrage, publié en 1889,

est accompagné d'un excellent atlas, donnant les dessins détaillés des principaux ventilateurs, et contient des indications bibliographiques sur les divers types d'appareils.

§ 15. Le *compresseur Raydt* a été étudié par M. G. Richard dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, 1889, p. 649.

§ 16. Le *ventilateur rotatif de Mortier* est décrit dans les *Comptes rendus de la Soc. de l'ind. min.*, 1889, p. 145.

§ 17. Sur les *machines soufflantes*, on consultera avec intérêt, outre les ouvrages déjà cités, le *Traité* de Ed. Deny, et *Die Hüttenwesens-Maschinen*, par J.-R. von Hauer; A. von Ihering donne (p. 27 de son ouvrage précité) le compte rendu d'une expérience minutieuse de consommation sur une machine à balancier. L'*Engineering* (1893, 2e sem., p. 368) signale une machine pour soufflerie Bessemer à soupapes commandées. Le *Bulletin de la Soc. de l'ind. min.*, 1893, p. 445, décrit deux machines soufflantes construites récemment au Creusot; la machine E.-P. Allis, que nous citons, est l'objet d'un article des *Trans. of the am. Instit. of mining engineers* d'août 1893.

§ 18. *Compresseurs.* — Compresseur *Colladon*, dans le *Génie civil*, t. II, Pl. XXIV; compresseur *Burkhardt-Weiss*, Mathet, l'*Air comprimé aux mines de Blanzy* et *Engineering*, 1889, 2e sem., p. 138; compresseur *Elwell*, *the Engineer*, 1894, 1er sem., p. 229; le *Génie civil* (1880, p. 324) donne les résultats d'essais sur les compresseurs Sommeiller, Revollier, Dubois-François et Burkhardt-Weiss; trois types sont comparés dans le *Bull. de l'Ind. min.*, 2e s., t. VII, p. 85. Le *Bulletin de la Soc. de l'ind. min.* de 1893, t. VII, p. 395 et 419, donne une description des compresseurs récemment établis à Blanzy, par M. de Boisset, et une étude sur ces appareils par M. Burdy, ingénieur aux usines du Creusot.

§ 19. *Moteurs à air comprimé.* — On consultera sur ces moteurs l'étude de M. G. Richard dans la *Revue technique de l'exp. univ. de* 1889 (6e partie, t. II, p. 349), la *Zeitschrift des Ver. d. Ing.*, 1891, p. 283, et 1892, p. 733 et 767); sur l'injection de vapeur, les *C. R. mensuels de la Soc. de l'ind. min.*, avril 1891, p. 84; sur les *perforatrices*, le *Cours d'exp. des mines*, par M. Haton de la Goupillière (I, 216); celui de Burat (supplément); Pernolet, dans les *Annales*, 7e s., t. I; la note de M. Druge dans le *Bull. de la Soc. de l'ind. min.*, 1893, t. VII, p. 387. Les wagons basculants de Thacher sont décrits dans l'*Engineering*, 1893, 2e sem., p. 636.

§ 20. *Transmissions par l'air comprimé.* — Dans son étude théorique sur les *machines à air comprimé*, *Bull. de la Soc. de l'ind. min.*, t. XII (1866-1867), p. 625, M. Mallard a étudié la production et l'emploi de l'air comprimé, en tenant compte de l'influence de la vapeur d'eau qu'il contient et de l'action des parois des cylindres. La *transmission de Paris* a été l'objet de nombreux articles de M. Riedler dans la *Zeitschrift des Ver. d. Ing.* en 1891, 1892 et 1893; la grande installation des compresseurs du quai de la Gare est décrite dans le *Génie civil* du 21 mai 1892, p. 33. L'*Engineering* de 1886, 2e sem., p. 343, décrit la transmission de Birmingham. La *Revue technique de l'exp. de* 1889 (fascicule 25) contient des détails nombreux sur les appareils à air comprimé.

Dans son ouvrage sur l'*Air comprimé aux mines de Blanzy* (2e édition, 1888), M. Mathet donne une étude complète de la production et de l'utilisation de l'air comprimé dans les mines; M. Durassier a publié une note à ce sujet dans le *Génie civil*, en 1890; enfin les installations de Blanzy viennent d'être l'objet d'un *aperçu général* par M. Mathet dans le *Bulletin de la Soc. de l'ind. min.* (1893, t. VII, p. 343).

Une étude de M. Achard sur la transmission par l'air comprimé a été publiée dans les *Annales*, 7e s., t. VI, p. 301.

La traction sur les tramways, d'après le système Mékarski, est décrite dans la *Revue gén. des ch. de fer*, 1889, 2e sem., p. 264, et dans l'*Engineering* (1888, 1er sem., p. 287; 1890, 1er sem., p. 334; 1893, 1er sem., p. 212). Sur les torpilles Whitehead, consulter le *Génie civil* du 5 sept. 1891 et l'*Engineering* de 1890, 2e sem., p. 628.

§ 22. *Transmission par l'air raréfié* : usine de la rue Beaubourg, à Paris, dans le *Bul. de l'Ass. amic. des élèves de l'École des mines de Paris*, avec bibliographie; *Poste pneumatique*, Rühlmann, ouvrage cité, t. III, p. 568, et Bontemps, les *Systèmes télégraphiques* (Paris, 1876).

Nous citerons, en terminant notre liste, le grand *Répertoire analytique de la presse technique* pour l'année 1892, publié en langues allemande, anglaise et française par M. R. Rieth; la plupart des articles des publications périodiques touchant à la mécanique appliquée y sont indiqués.

3. Notations. — Nous désignons par p la pression d'un gaz, exprimée en kilogrammes par mètre carré; par v le volume du kilogramme, en mètres cubes; par t sa température absolue, ou centigrade plus 273. Il importe de ne jamais oublier la définition de la *température*, qui est *proportionnelle à la pression d'un volume d'hydrogène constant;* mesurons la pression de ce volume invariable, quand l'hydrogène est en équilibre calorifique avec la glace fondante, puis avec la vapeur de l'eau en ébullition sous la pression d'une atmosphère ou de 760 millimètres de mercure : nous trouvons des chiffres proportionnels à 273 et à 373, ce qui nous conduit à l'échelle des températures *absolues* : en retranchant 273, nous obtenons les points 0 et 100 de l'échelle centigrade usuelle. Sous cette forme, la définition n'est pas complète; il faut ou bien dire en outre quelle est la valeur absolue de la pression

dans le thermomètre en un point de l'échelle, ou bien être sûr que cette valeur est indifférente; c'est ce qu'ont démontré les expériences de Regnault pour des pressions initiales, à zéro centigrade, comprises entre 400 et 1.500 millimètres de mercure.

Des volumes constants d'oxygène ou d'azote purs, d'air, d'oxyde de carbone, donnent des variations de pression à très peu près proportionnelles à la température obtenue à l'aide du thermomètre à hydrogène, corps qui a été choisi par le Comité international des poids et mesures.

Entre la pression p, le volume v d'un kilogramme, et la température absolue t d'un gaz, on a la relation approchée $pv = \mathrm{R}t$, R étant un coefficient égal à $\frac{p_0 v_0}{273}$, si p_0 et v_0 sont la pression et le volume du kilogramme de ce gaz à zéro centigrade. C'est la loi qui relierait ces trois éléments pour les gaz dits *parfaits;* les gaz réels n'y obéissent pas absolument, mais ceux que nous venons de citer s'en écartent peu, au moins entre les limites de pression et de température atteintes dans nos machines. On peut même appliquer cette loi à l'acide carbonique, avec une approximation souvent suffisante.

La quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'un kilogramme de gaz, dont le volume est invariable, est la *chaleur spécifique à volume constant* pour cette température. Si les températures restent comprises entre 0° et 200° ou 300° centigrades, la chaleur spécifique des gaz ne varie pas notablement; mais on commet une grave erreur en admettant la constance de la chaleur spécifique aux températures élevées. D'après les travaux de MM. Mallard et Le Chatelier (*Annales*, 8e série, t. IV, p. 535), la chaleur spécifique de l'air, à volume constant, est, pour la température centigrade θ : $0{,}17 + 0{,}000041\,\theta$; c'est le nombre de calories nécessaires

pour échauffer un kilogramme d'air de θ à $\theta + 1$ degrés centigrades. La calorie est la quantité de chaleur correspondant à l'échauffement de 0° à 1° de 1 kilogramme d'eau.

Rapportée au poids moléculaire, ou au volume de 22,32 litres à 0° et sous la pression d'une atmosphère, c'est-à-dire à 2 grammes pour l'hydrogène, 28 grammes pour l'azote et l'oxyde de carbone, 32 grammes pour l'oxygène, la chaleur spécifique des divers gaz parfaits est la même.

Pour échauffer de θ à $\theta + 1$ un kilogramme d'acide carbonique, il faut lui communiquer, en calories, $0{,}144 + 0{,}000168\,\theta$, d'après les mêmes auteurs.

Au lieu de considérer la chaleur spécifique à la température θ, telle que nous venons de la définir, on parle fréquemment de la *chaleur spécifique moyenne* de 0° à θ. L'expression de cette chaleur étant de la forme $a + b\theta$ la chaleur spécifique à θ sera $a + 2b\theta$.

D'après les théories usuelles, la chaleur reçue par un corps se partage en trois parts : une portion cause la variation de température, la seconde se transforme en travail interne, tel que la vaporisation des liquides, et la troisième, en travail externe. Les deux premières parties, parfois difficiles à séparer, sont réunies sous le nom de variation de l'*énergie interne*. Dans les gaz parfaits, le travail interne est nul; la variation d'énergie interne correspond simplement à la variation de température.

L'équivalent mécanique de la chaleur, 426 kilogrammètres pour une calorie, est représenté par la lettre E, et l'inverse de ce chiffre par A. On ne peut guère considérer le coefficient 426 comme approché à plus de 1 centième près.

Nous rappellerons les lois de la détente (ou de la compression) isotherme et adiabatique des gaz parfaits, avec production de travail externe.

Dans la transformation isotherme de p_1 à p_2, d'après

la loi de Mariotte, $p_1 v_1 = pv = p_2 v_2$, et le travail correspondant est :

$$\int_{v_1}^{v_2} p\,dv = \int_{v_1}^{v_2} p_1 v_1 \frac{dv}{v} = p_1 v_1 \mathrm{L} \frac{v_2}{v_1} = \mathrm{R}\, t_1 \mathrm{L} \frac{p_1}{p_2}$$

L désignant le logarithme népérien.

Pour un kilogramme d'air à $t_1 = 300$ ou 27° centigrades, pris à $p_1 = 50.000$ kilogrammes par mètre carré et amené à $p_2 = 10.000$ ou environ une atmosphère, c'est un travail de $29{,}28 \times 300 \times 1{,}6094$ ou 14.100 kilogrammètres.

Dans la transformation adiabatique, c'est-à-dire sans échange de chaleur avec l'extérieur, de p_1 à p_2, la température passe de t_1 à t_2 et le travail est

$$\mathrm{E}c\,(t_1 - t_2)$$

c étant le coefficient de chaleur spécifique à volume constant, supposé invariable entre t_1 et t_2. Dans cette transformation adiabatique, on a la relation $pv^k =$ constante, où k, égal à 1,41, est le rapport, supposé invariable, des chaleurs spécifiques à pression et à volumes constants; cette formule n'est donc applicable qu'entre des limites assez étroites de température.

t_2 se calcule en fonction de t_1 par la formule :

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}.$$

L'aire ABCD (*fig.* 1) représente le travail que peut transmettre à un piston un kilogramme de gaz agissant par sa pression p_1 suivant AB, puis se détendant de B à C, et expulsé de C à D. Si la détente est isotherme, comme $p_1 v_1 = p_2 v_2$, c'est justement l'expression $p_1 v_1 \mathrm{L} \frac{p_1}{p_2}$; avec une détente adiabatique, BC′, c'est $kc\mathrm{E}\,(t_1 - t_2)$, c étant la chaleur spécifique à volume constant.

En appliquant la *relation paramétrique* $R = (k-1)cE$, on trouve, pour rapport des travaux, avec détentes adiabatique et isotherme :

$$\frac{k}{k-1} \times \frac{1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}}{\mathfrak{L}\left(\frac{p_1}{p_2}\right)} = 3{,}44\ \frac{1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0{,}29}}{\mathfrak{L}\left(\frac{p_1}{p_2}\right)}.$$

Avec $p_1 = 5p_2$, la valeur de ce rapport est 0,8.

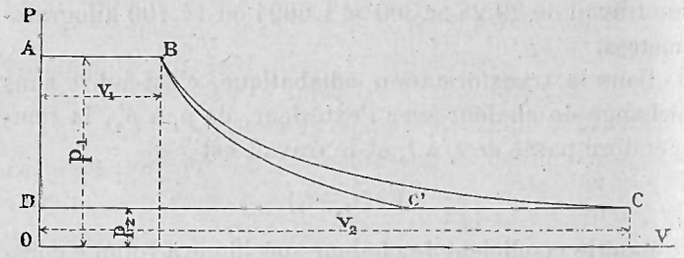


Fig. 1. — Travail d'un gaz avec détentes adiabatique et isotherme.

On considère certains courants gazeux comme formés d'un fluide de densité constante, auquel s'applique l'équation de Bernoulli :

$$\frac{w^2}{2g} + \frac{p}{\varpi} + z = \text{constante}$$

w étant la vitesse, ϖ le poids du mètre cube $\left(\varpi = \frac{1}{v}\right)$ et z l'altitude. La *ligne de charge*, obtenue en portant verticalement, au-dessus de la trajectoire, la hauteur due à la vitesse, $\frac{w^2}{2g}$, plus la hauteur piézométrique, $\frac{p}{\varpi}$, est dans un plan horizontal, s'il ne se produit ni frottements ni changements brusques. Ces causes abaissent d'un point à l'autre de la trajectoire la ligne de charge, et donnent lieu à une *perte de charge* entre ces points. Nous rappelons cette définition, parce qu'on trouve maintes fois

l'expression *perte de charge* employée en dehors de sa signification précise. Pour des courants gazeux à densité variable, ou constante, on désigne souvent ainsi la *différence de pression* d'un point à un autre de la trajectoire.

Au sujet des notations, nous mettrons nos lecteurs en garde contre l'abus fréquent du mot *rendement*. On désigne ainsi un rapport, ce qui n'a de sens que si l'on indique avec précision les deux grandeurs dont on donne le rapport. En parlant de rendement, on se contente trop souvent de laisser vaguement supposer qu'il s'agit d'un rapport entre un certain travail « théorique » que pourrait donner une machine, et le travail utile qu'elle est censée produire effectivement.

4. Tracé des courbes de détente. — En étudiant la détente des gaz et des vapeurs, on doit souvent tracer des courbes de la forme $pv^k = \text{const.}$, avec diverses valeurs de l'exposant k. Ces tracés sont facilités par l'emploi du papier quadrillé logarithmique. La graduation des deux systèmes perpendiculaires de traits qui couvrent ce papier est celle d'une règle à calcul, les espacements des traits étant proportionnels aux logarithmes des nombres inscrits sur ces traits (*fig.* 2). Les divisions sont, bien entendu, plus nombreuses et à plus grande échelle que sur cette figure.

La relation $pv^k = \text{const.}$ équivaut à

$$\log p + k \log v = \text{const.}$$

Si nous prenons sur notre papier $\log p$ et $\log v$ comme coordonnées par rapport à deux axes, correspondant au nombre 1, dont le logarithme est zéro, nous avons l'équation d'une droite, facile à tracer au moyen de deux valeurs particulières des coordonnées. Une fois cette droite tracée, nous pouvons lire en chacun de ses points les valeurs correspondantes de p et de v, et par suite cons-

truire notre courbe sur papier quadrillé ordinaire. La droite tracée sur la *fig.* 2 correspond à la relation $\log p + 1{,}4 \log v = 10$, qui donne

$p = 10$ pour $v = 1$ et $v = 7{,}15$ pour $p = 1$.

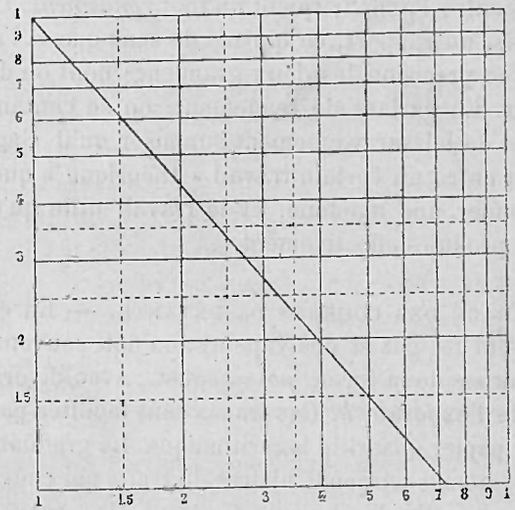


Fig. 2. — Papier quadrillé logarithmique.

Ces tracés sont une application fort simple du principe de l'anamorphose, indiqué par M. Lalanne en 1843; ils ont été employés par MM. Hirsch et Debize dans leurs *leçons sur les machines à vapeur*, t. I, p. 269 et pl. 5.

5. Formule générale du mouvement permanent des gaz. — Pour étudier le mouvement des gaz, on admet souvent qu'ils forment une série de filets, ne se mélangeant pas les uns aux autres, sauf à certains points spéciaux du trajet; c'est l'hypothèse qu'on fait en hydraulique pour les liquides. On considère surtout le mouvement *permanent*, où chaque point de l'espace est balayé par un courant invariable. Enfin, on suppose que,

dans certaines sections du courant, tous les filets sont identiques, parallèles et animés de la même vitesse, et que la pression est uniforme dans ces sections.

Cette conception du mouvement, qui se rapproche plus ou moins de la réalité, conduit à une formule simple, déduite de l'équation des forces vives : dans une première section, la pression est p_1, le volume du kilogramme v_1, la vitesse w_1; l'énergie interne, réduite uniquement à la chaleur sensible pour un gaz parfait, est U_1; dans une seconde section, nous retrouvons le gaz avec la pression p_2, le volume v_2, la vitesse w_2, l'énergie interne U_2; d'une section à l'autre, le gaz descend d'une hauteur verticale H. Enfin, dans le trajet, chaque kilogramme reçoit un nombre de calories Q, Q étant négatif si le gaz cède de la chaleur au dehors au lieu d'en recevoir.

En prenant pour le kilogramme de gaz, dans les deux sections, l'équivalent calorifique de la force vive, du travail de la pression p_1 qui le pousse en amont et de la pression p_2 qu'il refoule en aval, du travail de la pesanteur, le principe des forces vives, sous sa forme générale, donne la relation :

$$U_1 + Q + A\left(\frac{w_1^2}{2g} + p_1 v_1 + H\right) = U_2 + A\left(\frac{w_2^2}{2g} + p_2 v_2\right).$$

Suivons une particule gazeuse dans son trajet; d'après le premier principe de la thermodynamique, la quantité de chaleur qu'elle reçoit se transforme en variation d'énergie et en travail externe $\int p\,dv$, dv étant la variation de volume sous la pression p. Le mouvement du gaz ne modifie pas cette transformation. L'intégration depuis le départ jusqu'à l'arrivée, étendue à un kilogramme, conduit à la relation :

$$Q = U_2 - U_1 + A\int_{v_1}^{v_2} p\,dv$$

de sorte que notre équation des forces vives se réduit à

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} - H = p_1 v_1 - p_2 v_2 + \int_{v_1}^{v_2} p\,dv$$

ou à la forme encore plus condensée

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} - H = -\int_{p_1}^{p_2} v\,dp$$

Ce raisonnement suppose qu'il ne se produit pendant le trajet aucune transformation en chaleur de la force vive du courant, puisqu'il admet une balance exacte des calories qui produisent l'échauffement du gaz, qui fournissent le travail de sa dilatation et qui viennent de l'extérieur.

Nous supposons en outre que le courant est homogène, c'est-à-dire que chaque particule gazeuse est soumise aux mêmes actions calorifiques pendant son trajet.

Représentons en OA et OD (*fig.* 3) les pressions p_1 et p_2, en AB et DC les volumes du kilogramme v_1 et v_2, en BC la loi qui lie la pression au volume pendant l'écoulement; l'aire ABCD figure l'expression $\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} - H$, c'est-à-dire le demi-accroissement de la force vive du kilogramme, diminué du travail de la pesanteur, souvent négligeable. On voit que cette expression équivaut au travail que pourrait communiquer le kilogramme de gaz au piston d'un moteur, en passant de la pression p_1 à la pression p_2 suivant la même loi de détente : ABbO est le travail de pleine pression, BCcb celui de la détente, et CcOD le travail résistant de l'échappement.

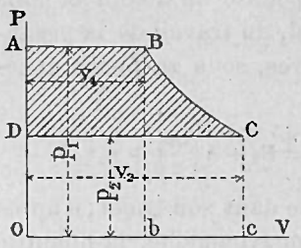


Fig. 3. — Force vive d'un gaz.

Le tracé montre au premier coup d'œil l'identité des

expressions

$$p_1 v_1 - p_2 v_2 + \int_{v_1}^{v_2} p\,dv \qquad \text{et} \qquad -\int_{p_1}^{p_2} v\,dp$$

qui toutes deux mesurent la même surface, découpée en rectangles infinitésimaux par des parallèles à l'un ou à l'autre axe des coordonnées.

On peut encore écrire l'équation générale, pour les gaz parfaits, sous une forme qui laisse en évidence la quantité de chaleur Q reçue du dehors, en partant des relations $pv = Rt$ et $U = ct$, c étant la chaleur spécifique à volume constant :

$$Q + (c + AR)\,t_1 + A\left(\frac{w_1^2}{2g} + H\right) = (c + AR)\,t_2 + A\frac{w_2^2}{2g}$$

ou, comme $c + AR = kc = 1{,}41\,c$

$$A\left(\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} - H\right) = kc\,(t_1 - t_2) + Q$$

6. Écoulement par un orifice. — Imaginons que le gaz s'écoule, par un orifice en mince paroi, d'une enceinte dans une autre, les pressions p_1 et p_2 étant entretenues constantes dans ces deux enceintes; toujours par assimilation avec l'hydraulique, et d'après certaines expériences, on admet qu'il existe une section contractée ou minima un peu en aval de l'ouverture. Appelons p'_2 la pression, v'_2 le volume du gaz, w_2 la vitesse dans cette section; nous verrons dans quel cas on est conduit à penser que p'_2 diffère de la pression ambiante p_2. En considérant une section suffisamment reculée en amont, w_1^2 est négligeable; la hauteur de chute H l'est aussi, de sorte que l'équation qui donne la vitesse w_2 se réduit à :

$$\frac{w_2^2}{2g} = p_1 v_1 - p'_2 v'_2 + \int_{v_1}^{v'_2} p\,dv = -\int_{p_1}^{p'_2} v\,dp$$

Si la densité du gaz reste constante pendant l'écoule-

ment, par suite d'un refroidissement, qui empêche v de grandir malgré la diminution de la pression :

$$\frac{w_2^2}{2g} = v_1 (p_1 - p'_2).$$

C'est la formule de Torricelli pour l'écoulement des liquides, dont la densité ne varie pas : la demi-force vive est représentée par le rectangle ABC″D (*fig.* 4).

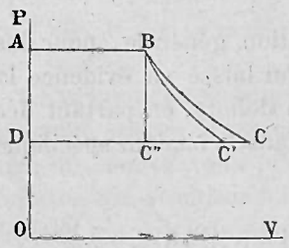


Fig. 4. — Écoulement d'un gaz.

Si, au contraire, on chauffe le gaz, de manière à en tenir constante la température pendant l'écoulement :

$$\frac{w_2^2}{2g} = p_1 v_1 \mathcal{L} \frac{p_1}{p'_2} = \mathrm{R}\, t_1 \mathcal{L} \frac{v'_2}{v_1}$$

expression représentée par l'aire ABCD (*fig.* 4); c'est l'équation de Navier.

Enfin, dans l'écoulement adiabatique, c'est-à-dire sans échange de chaleur avec le dehors, l'équation générale, sous sa dernière forme, avec $\mathrm{Q} = 0$, donne :

$$\frac{w_2^2}{2g} = k c \mathrm{E} (t_1 - t'_2).$$

C'est l'équation de Weissbach. La courbe de détente est BC′ (*fig.* 4); t'_2 est donné par la relation :

$$\frac{t'_2}{t_1} = \left(\frac{p'_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_1}{v'_2}\right)^{k-1}.$$

Cette dernière hypothèse semble plausible pour l'écoulement par un orifice en mince paroi ; dans ce cas, d'ailleurs, s'il y a communication de chaleur avec le dehors, on ne voit pas comment chaque filet gazeux pourrait subir des effets calorifiques identiques. Pour de faibles différences des pressions p_1 et p'_2, les trois formules donnent des valeurs peu différentes de la vitesse.

Quelle est la valeur de la pression p'_2 dans la veine animée de la vitesse w_2? En continuant l'assimilation aux lois de l'hydraulique, l'idée la plus simple est de la supposer égale à la pression p_2 qui règne dans l'enceinte où elle pénètre. Bien entendu, il ne s'ensuit pas que la température t'_2 soit la même que celle du gaz en repos, t_2, ni, par suite, que le volume du kilogramme, v'_2, soit le même que v_2. Au contraire, en appliquant l'équation des forces vives au mouvement du gaz depuis la section où il a la vitesse w_2 jusqu'à la région où il est de nouveau en repos dans la seconde enceinte, et en supposant qu'il ne reçoive aucune quantité de chaleur dans cette seconde partie du trajet, l'équation générale donne :

$$\frac{w_2^2}{2g} = k c \mathrm{E} (t_2 - t'_2).$$

Si la première phase de l'écoulement était également adiabatique, on voit que cette seconde équation indique l'égalité de t_1 et de t_2. Le gaz reprend sa température initiale, après s'être refroidi jusqu'à t'_2. Après l'écoulement, nous le retrouvons à la même température, mais avec une pression moindre.

Certaines anomalies des formules ont conduit à l'hypothèse d'une pression p'_2, dans la section d'écoulement, plus grande que p_2; cette hypothèse a été développée par Wantzel et de Saint-Venant (en 1839), puis par le capitaine Hugoniot. Prenons, dans la veine, une section quelconque dont l'aire soit ω; supposons dans cette section une vitesse w commune aux divers filets; soit P le poids écoulé par seconde, et ϖ le poids du mètre cube; l'équation de continuité donne la relation :

$$\varpi w \omega = \mathrm{P}.$$

Pour la section contractée, que nous avons considérée jusqu'ici, ω est minimum, ou ϖw maximum. Or le calcul de w, dans une section quelconque, reste le même : sup-

posons un écoulement adiabatique ; en supprimant les facteurs constants, nous avons à chercher le maximum de $\varpi\sqrt{t_1 - t}$ ou du carré $\frac{t_1 - t}{v^2}$, puisque $\varpi = \frac{1}{v}$.

La relation $\frac{t}{t_1} = \left(\frac{v_1}{v}\right)^{k-1}$ donne $v = \left(\frac{t_1}{t}\right)^{\frac{1}{k-1}} v_1$.

La fonction dont nous cherchons le maximum est donc, en supprimant les facteurs constants v_1 et t_1, $(t_1 - t)t^{\frac{2}{k-1}}$.

En égalant la dérivée à zéro, on arrive à la valeur $t = \frac{2}{k+1} t_1 = 0{,}83 t_1$.

De la relation $\frac{t}{t_1} = \left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$, nous déduisons alors $p = 0{,}522 p_1$.

Si la pression dans la seconde enceinte, p_2, est plus grande que $0{,}522 p_1$, la pression dans la veine gazeuse, qui ne s'abaissera pas au-dessous de p_2, n'atteindra pas la valeur correspondant au minimum de ω. La section ira en décroissant jusqu'à ce que la pression descende à p_2, et nos raisonnements peuvent s'appliquer en considérant cette section.

Mais si p_2 est plus petit que $0{,}522 p_1$, la tension dans la veine, qui varie de p_1 à p_2, passera par la valeur $0{,}522 p_1$ et, en ce point, la section ω sera minima ; il y aura une véritable section contractée ; l'équation de Weissbach peut s'appliquer, mais en y faisant figurer non la pression p_2, mais $0{,}522 p_1$ quelle que soit la valeur, plus petite, de p_2.

Les mêmes raisonnements s'appliquent à d'autres modes d'écoulement, notamment au mode isotherme ; mais alors la valeur de p qui correspond au minimum d'ω n'est plus la même : c'est $0{,}606 p_1$ pour l'écoulement isotherme.

Ces aperçus sont fort ingénieux ; mais la question ne peut être considérée comme épuisée, et il est à souhaiter que ces phénomènes soient l'objet de nouvelles études expérimentales approfondies.

Le calcul de la vitesse ne détermine pas le débit, sauf pour les orifices *parfaitement évasés* des hydrauliciens. Les expériences de d'Aubuisson ont fourni quelques valeurs des coefficients de contraction.

7. Frottements des gaz. — Lorsque l'écoulement se fait par une longue conduite, comment se manifeste le frottement des gaz contre les parois ou entre les diverses parties du courant? Même dans le passage à travers un orifice en mince paroi, l'effet du frottement est-il négligeable, quand la vitesse devient très grande?

Les effets du frottement sont plus obscurs sur les gaz que sur les liquides. Dans une conduite d'eau, le travail du frottement se transforme en chaleur, en mouvements tourbillonnaires qui se propagent dans le courant liquide, en vibrations des parois qui le guident, en usure de ces parois. Que cette chaleur ainsi produite reste dans le liquide ou qu'elle se dissipe au dehors, peu nous importe ; elle est sans aucune utilité pour nous et ne modifie pas l'écoulement. Mais, dans un courant gazeux, la chaleur due aux frottements, si elle reste dans le gaz, n'en modifie pas l'énergie totale ; si elle se dissipe au dehors, elle doit figurer comme terme négatif dans l'expression de la chaleur Q de notre équation générale.

Nous ne pourrons plus alors réduire cette équation aux formes condensées

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} = p_1 v_1 - p_2 v_2 + \int_{v_1}^{v_2} p\,dv = -\int_{p_1}^{p_2} v\,dp.$$

Le travail de la dilatation ne correspond plus uniquement à la variation de la température du gaz et aux

calories Q, reçues de l'extérieur, mais il est influencé aussi par les calories Q′ provenant de la transformation de la force vive du courant :

$$Q + Q' = U_2 - U_1 + A\int_{v_1}^{v_2} p\,dv.$$

En remplaçant Q par la valeur correspondante, dans l'équation générale des forces vives :

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} - H + EQ' = p_1 v_1 - p_2 v_2 + \int_{v_1}^{v_2} p\,dv = -\int_{p_1}^{p_2} v\,dp.$$

On met ainsi en évidence le travail du frottement sur un kilogramme, EQ′, en supposant qu'il se transforme tout entier en chaleur ; il ne disparaît pas pratiquement, comme dans le frottement des liquides, mais on en retrouve l'équivalent en variations d'énergie et de travail externe du courant gazeux.

Cette nouvelle équation diffère plus en apparence qu'au fond de l'équation établie en négligeant le frottement, puisqu'au terme EQ′ correspond un terme égal, implicitement contenu dans l'intégrale $-\int_{p_1}^{p_2} v\,dp$.

La chaleur produite par le frottement peut aussi se dissiper au dehors et figurer comme terme négatif de Q. Mais comment distinguer cette quantité de chaleur de celle qui est cédée par simple contact? Le coefficient de transmission de la chaleur à travers une paroi semble varier avec la vitesse des gaz ; mais les lois de la transmission ne sont pas assez connues pour qu'on puisse isoler la part du frottement.

Lors de l'écoulement adiabatique d'une enceinte à p_1 dans une enceinte à p_2, en admettant que la pression p_2 dans la veine soit égale à p_2, s'il n'y avait pas de frottements, la température t_2' dans la veine serait égale à $t_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0,29}$ et la vitesse serait donnée par l'équation

$$\frac{w_2^2}{2g} = kc\,E\,(t_1 - t_2').$$

Par suite du frottement, sans échange de chaleur avec l'extérieur, la veine aura une température t_2'' plus élevée que t_2' et la vitesse w_2'' sera moindre ; elle est donnée par l'équation générale $\frac{w_2''^2}{2g} = kc\,E(t_1 - t_2'')$, équation dont cette forme reste applicable. Une fois le gaz au repos, à la pression p_2, il a repris, dans les deux cas, la température initiale t_1.

Dans une conduite, pour se faire une idée du frottement des gaz, on peut imaginer qu'elle est munie d'une série de diaphragmes percés de trous et placés à distances égales : le gaz passe avec vitesse par ces trous, puis se ralentit dans chacune des chambres comprises entre deux diaphragmes. Supposons qu'il y revienne au repos ; soient $p_1, p_2, \ldots, p_n$ les pressions successives dans ces chambres ; si les différences de ces pressions sont minimes, on peut écrire, $w_2, w_3, \ldots, w_n$, étant les vitesses d'écoulement, et $v_2, v_3, \ldots, v_n$, les volumes du kilogramme de gaz :

$$\frac{w_2^2}{2g} = v_2(p_1 - p_2)$$
$$\frac{w_3^2}{2g} = v_3(p_2 - p_3)$$
$$\cdots\cdots\cdots$$
$$\frac{w_n^2}{2g} = v_n(p_{n-1} - p_n)$$

Dans chacune des chambres, le gaz peut recevoir ou céder de la chaleur, ce qui fait varier le volume v. Nos égalités montrent que la chute de pression d'une chambre dans l'autre est proportionnelle au carré de la vitesse, en raison inverse du volume v, ou proportionnelle à la densité $\frac{1}{v}$; ce sont des règles généralement admises pour le frottement.

En réalité, les phénomènes du frottement n'ont qu'une

analogie bien lointaine avec cette conception du passage à travers des diaphragmes successifs; pour les étudier à fond, il faudrait pénétrer les lois véritables du mouvement des fluides; la conception des filets parallèles est sans doute éloignée de la réalité. M. Violle et d'autres physiciens ont étudié le frottement des gaz dans leur écoulement par des tubes capillaires; leurs études ne paraissent pas encore avoir conduit à l'établissement de lois directement applicables en pratique.

Outre la chaleur, le frottement produit sans doute des mouvements tourbillonnaires dans les courants gazeux; il peut aussi mettre en vibration les corps solides qui les guident.

Faute de pénétrer tous ces phénomènes, on laisse de côté les formules de la thermodynamique, et on assimile fréquemment les gaz à des fluides de densité constante, obéissant aux lois de l'hydraulique. Souvent on applique ces lois en chaque point du trajet, en faisant figurer, comme fonction du terme qui exprime les résistances, la densité du gaz en ce point. Cette méthode, bien qu'entièrement empirique, permet de généraliser les expériences et d'en tirer des formules utiles.

Les remarques de Poncelet, à cet égard, sont fort intéressantes. Nous les extrayons d'un rapport publié dans les *C. R. de l'Acad. des sciences*, t. XXI, 1845, p. 190 :

« Lorsqu'on applique le principe de la conservation des forces vives aux fluides, en supposant leurs molécules animées d'un simple mouvement de translation parallèle, dans certaines régions prismatiques d'un vase, on commet une double erreur, dont l'une, celle qui a été évaluée par Borda, provient de la force vive *dissimulée* dans la rotation des molécules ou groupes de molécules, et dont l'autre est généralement due à l'inégalité et à l'obliquité même des vitesses ou des filets fluides; c'est

pourquoi on doit les considérer comme autant de pertes qui viennent s'ajouter au terme relatif à la force vive principale ou de pure translation. Ces différentes pertes, bien qu'elles ne soient pas rigoureusement déterminées par le calcul, dans l'état actuel de nos connaissances théoriques, peuvent du moins être observées et appréciées au moyen de la comparaison des résultats fournis par le théorème général des forces vives, avec les données immédiates de l'expérience. De plus, il convient de remarquer qu'il en est ainsi de toutes les autres pertes de travail provenant des actions moléculaires, dont la nature intime nous sera, de longtemps encore, inconnue, telles que frottements et réactions au contact, vibrations, oscillations et résistances diverses. »

En écrivant l'équation des forces vives, au contraire, ainsi que le dit Regnault (*Œuvres*, t. III, p. 67), « on assimile les molécules du courant gazeux à des balles lancées avec la même vitesse, dans une même direction et sans qu'elles puissent réagir les unes sur les autres; ou bien on suppose qu'elles constituent un système *absolument* rigide ».

En outre, dans l'étude du mouvement des gaz, il ne faut pas oublier que nous ne connaissons pas de gaz *parfaits*, et qu'à leurs changements d'état correspond en réalité un léger travail interne.

8. Mouvement dans une conduite. — Si une conduite donnait lieu à un écoulement adiabatique d'un réservoir dans un autre, avec des pressions p_1 et p_2 constantes dans ces réservoirs, nous pourrions faire le même raisonnement que pour l'écoulement par un simple orifice; nous dirions que l'énergie totale du gaz ne varie pas dans le trajet et que le frottement réduit l'abaissement de température au débouché; la force vive du kilogramme et la vitesse en seront amoindries. Au repos,

sous la pression p_2, le gaz reprendra la température initiale t_1. La limite supérieure de la température t_2'' dans la veine est t_2 et correspond à l'annulation de la vitesse d'écoulement.

Mais, dans les conduites qui servent au transport de l'air comprimé ou du gaz d'éclairage, l'écoulement n'est pas adiabatique. Au contraire, la température du gaz paraît rester constante, si la température ambiante l'est également. Cette température constante doit être inférieure à la température ambiante; en effet, vu la constance de la température, l'équation des forces vives, pour une conduite horizontale cylindrique, se réduit à :

$$A\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} = Q.$$

L'expérience nous apprend que la pression diminue suivant le sens du courant; par conséquent w_2 est plus grand que w_1; Q est positif; le gaz reçoit de la chaleur du dehors, ce qui exige qu'il se tienne à une température inférieure à la température extérieure.

Ainsi, l'air comprimé amené par une conduite d'un réservoir à la pression p_1 à un réservoir à la pression p_2, inférieure à p_1, se retrouve avec une énergie plus grande dans ce second réservoir, puisqu'il aura pris de la chaleur en route. Revenu au repos, il a une pression moindre et une température un peu plus élevée qu'à l'origine.

Si l'énergie s'accroît ainsi légèrement, la puissance motrice utilisable dans nos machines est réduite du fait de l'abaissement de pression.

L'élévation de température dans le second réservoir sera souvent peu sensible; pour qu'elle soit de 1°, avec l'air, il faut qu'il y débouche avec une vitesse d'environ 45 mètres par seconde.

Cette méthode ne conduit à aucun résultat utile en pratique; les observations se rattachent mieux aux formules empiriques que nous indiquons aux paragraphes suivants.

9. Tuyauterie d'air comprimé. — Imaginons d'abord une conduite horizontale de longueur L, de diamètre D, dans laquelle la pression et la température, d'une extrémité à l'autre, varient assez peu pour qu'on puisse considérer la densité du gaz et sa vitesse w comme constantes; p_1 et p_2 étant les pressions en deux points, on admet la relation de l'hydraulique :

$$p_1 - p_2 = K\varpi\frac{w^2 L}{D},$$

les unités étant toujours le mètre, le kilogramme, la seconde, et les pressions p_1 et p_2 étant par suite exprimées en kilogrammes par mètre carré.

En observant les valeurs de p_1, p_2, ϖ et w, dans divers cas, on calcule K; tous les résultats se groupent autour d'un chiffre moyen, au moins pour un même diamètre D, et surtout pour une même nature de parois. Cela prouve que la formule empirique adoptée est acceptable dans les limites des expériences.

Si la différence des pressions est importante, on peut décomposer la conduite en tronçons successifs ne produisant chacun qu'une faible variation. On peut même supposer une décomposition en tronçons infiniment petits. M. Ledoux a donné ce calcul dans son mémoire : soient p, t, w, ϖ, la pression, la température, la vitesse, la densité en un point quelconque, où la pression passe de p à $p + dp$ pour une longueur dx : on aura, pour ce tronçon dx :

$$-dp = K\varpi\frac{w^2}{D}dx = K\frac{\varpi w \times w}{D}dx.$$

En vertu de l'équation de continuité, la conduite ayant une section uniforme, $\varpi w = \text{const.} = \varpi_1 w_1$ et, comme

$\varpi = \frac{p}{Rt}$ où $R = \alpha p_0 v_0 = 29{,}28$ pour l'air, w s'exprime en fonction de l'état initial :

$$w = \frac{\varpi_1 w_1 R t}{p}.$$

Substituant dans notre première équation :

$$-p\,dp = \frac{K \varpi_1^2 w_1^2 R t}{D}\,dx.$$

Si, comme on l'a souvent observé, t est constant, cette expression s'intègre immédiatement et donne

$$p_1^2 - p_2^2 = 2K \frac{\varpi_1^2 w_1^2 R t}{D} L.$$

Les valeurs de K se déduiront de l'observation, avec des débits divers ; si elles se rapprochent d'une moyenne, on appliquera la formule empirique, dans les limites des expériences.

On a opéré à Anzin sur des conduites en fer, longues d'environ 300 mètres, avec des diamètres intérieurs de 100, 71 et 47 millimètres, pour des pressions initiales s'élevant jusqu'à 5 et 6 atmosphères et des pressions finales assez variables. Ces pressions étaient données par deux manomètres communiquant avec la conduite près de ses extrémités. Dans la plupart des expériences, les valeurs de K ne se sont guère écartées de la moyenne 0,00091.

La formule

$$p_1^2 - p_2^2 = 2 \times 0{,}00091 \frac{\varpi_1^2 w_1^2 R t}{D} L$$

permet de calculer, dans chaque cas, le diamètre qui peut assurer le débit voulu sans dépasser une chute de pression donnée.

Par exemple, avec $p_1 = 50.000$ kilogrammes par mètre carré, $p_2 = 45.000$, $t = 298$ (25° centigrades), $L = 1.000$ mètres, pour un débit de 1 kilogramme par seconde, on trouve, en arrondissant le chiffre, $D = 0^m{,}14$. Le coefficient 0,0009 s'applique convenablement à plusieurs des expériences de M. Stockalper au Saint-Gothard, faites sur des conduites de 20 et de 15 centimètres de diamètre.

M. Stockalper avait proposé une expression de ce coefficient variable avec le diamètre. D'autre part, M. Riedler a déduit de ses expériences, sur le réseau des conduites d'air comprimé à Paris, une valeur presque moitié moindre du coefficient K.

Si la conduite est inclinée, la pression à l'extrémité est augmentée ou diminuée ; pour connaître cette variation, on calcule le poids d'une colonne d'air de même hauteur verticale, de même section et de même pression dans chaque plan horizontal. Il suffira souvent de supposer la pression constante et égale à la pression moyenne.

Pour les conduites descendant verticalement dans les mines, l'augmentation de pression résultant du poids de la colonne d'air peut compenser l'effet du frottement ; les températures étant constantes, il suffit pour cela que $D = 0{,}272 \sqrt[5]{V^2}$, V étant le débit en mètres cubes par seconde à la pression initiale ; D est exprimé en mètres.

Plusieurs auteurs ont appliqué aux gaz la formule de l'hydraulique sans modification, avec même valeur du coefficient B :

$$p_1 - p_2 = \varpi \frac{\chi}{\omega} B w^2 L \quad \text{avec} \quad B = 0{,}00037$$

$\frac{\chi}{\omega}$ est égal à $\frac{4}{D}$ pour une conduite circulaire ; le coefficient que nous appelions K est égal à 4B ; ce serait 0,0015, valeur trop forte d'après les expériences que nous avons rapportées.

M. Lorenz, de la comparaison des expériences de Stockalper, Devillez, Gutermuth et Riedler, déduit la formule

$$2\frac{p_1-p_2}{p_1+p_2}=\alpha\frac{L}{D}w^2=\alpha_0\frac{273}{t}\frac{L}{D}w^2$$

où p_1 et p_2 sont les pressions absolues, en kilogrammes par centimètre carré, aux extrémités de la conduite ; L la longueur en kilomètres, D le diamètre en millimètres ; w la vitesse de l'air en mètres par seconde ; t la température absolue de l'air (généralement voisine de 288 ou 15° centigrades). La valeur du coefficient α_0 serait, d'après M. Lorenz,

$$\frac{0{,}52}{D^{0{,}30933}}$$

ce qui donnerait, pour les diamètres

D =	50 millimètres	α_0 =	0,155
	75		0,137
	100		0,125
	125		0,117
	150		0,110
	175		0,105
	200		0,101
	250		0,094
	300		0,089
	350		0,085

Des expériences d'Anzin on déduirait des valeurs moindres du coefficient α_0, surtout pour le diamètre de 50 millimètres.

10. Conduites de gaz d'éclairage. — M. Arson a fait, en 1863 et 1864, des expériences sur des conduites horizontales et rectilignes en fonte, avec diamètres variant de 50 à 500 millimètres. Les pressions étaient observées en deux points distants de 100 à 300 mètres, à l'aide de manomètres fort sensibles. Le tuyau du manomètre était

branché sur la paroi de la conduite. En faisant pénétrer plus ou moins ce tuyau vers le milieu du courant gazeux, les indications du manomètre variaient ; mais ces variations ont disparu quand on a muni l'extrémité du tuyau du manomètre d'une collerette plate et mince. Les expérimentateurs en ont conclu qu'en le branchant sur la paroi de la conduite, on obtenait bien la mesure de la pression qui règne dans toute la section. Cela est d'une grande importance, car les différences de pression mesurées sont faibles. Les deux manomètres étaient, d'ailleurs, branchés de même. Le débit était mesuré par un compteur, sauf pour la plus grosse conduite, alimentée par un gazomètre dont on observait l'abaissement. On opérait avec de l'air pour les grosses conduites, avec du gaz d'éclairage pour celles de 50 et 82 millimètres. Enfin on a aussi essayé, avec du gaz, une conduite en fer-blanc de 50 millimètres : d'Aubuisson avait employé ce métal dans ses essais.

En considérant le gaz comme un fluide de densité constante ϖ, animé de la vitesse w, M. Arson trouve que la différence des pressions p_1 et p_2, dans la conduite longue de L et au diamètre D, est convenablement représentée par la formule

$$p_1-p_2=\frac{4L}{D}\varpi(aw+aw^2)$$

a et b étant deux coefficients qui dépendent du diamètre D et de la nature des parois ; p_1 et p_2 sont exprimés en kilogrammes par mètre carré. Les valeurs des coefficients ont été déduites de séries d'expériences sur des conduites de 500, 325, 254, 103, 81 et 50 millimètres. Par interpolations on les a calculées pour d'autres diamètres : nous donnons quelques-unes de ces valeurs, en les simplifiant un peu :

Conduites en fonte.

$D = 0^m,050$	$a = 0,0007$	$b = 0,0006$
0 ,100	0,00055	0,00047
0 ,150	0,00044	0,00043
0 ,200	0,00033	0,0004
0 ,300	0,00018	0,00033
0 ,500	0,00002	0,00025
0 ,700	$a = 0$	$b = 0,0002$

Conduites en fer-blanc.

$D = 0^m,050$	$a = 0,0007$	$b = 0,00035$

Sur une conduite au diamètre de $0^m,5$, l'air à la densité de $1^{kg},293$ par mètre cube, et avec la vitesse de $1^m,018$ par seconde, perd 2,8 kilogrammes par mètre carré (pression mesurée par $2^{mm},8$ d'eau) pour un parcours d'un kilomètre. La densité du gaz étant les 41 centièmes de celle de l'air, sa pression baissera par kilomètre de $1^{kg},2$ par mètre carré.

La proportionnalité de la perte de pression à la densité ne paraît pas nettement établie par les expériences, au moins telles qu'elles sont rapportées dans les mémoires de la Société des ingénieurs civils : on a employé le gaz dans les conduites de 81 et de 50 millimètres, et l'air dans les conduites plus fortes.

Les coefficients donnés par M. Arson se rapprochent beaucoup de ceux qui figurent dans la formule binôme de de Prony pour le mouvement de l'eau. La formule nouvelle proposée par M. Flamant, $D^5 J^4 = a^4 w^7$, où J est la perte de charge par mètre, égale à $\frac{p_1 - p_2}{\varpi}$, s'applique aussi avec une grande approximation aux expériences de M. Arson.

Les expériences de d'Aubuisson ont été faites sur une conduite en fer-blanc de 100 millimètres, longue de 400 mètres, avec de l'air soufflé par une trompe. L'air

s'échappait à l'extrémité de la conduite de diamètre D, par un orifice de diamètre d; de l'observation de la pression dans la conduite, on déduisait le débit, par les formules de l'écoulement. La formule donnée par d'Aubuisson est de la forme :

$$H - h = n \frac{h L d^4}{D^5}$$

où H et h sont les pressions $p_1 - p_a$ et $p_2 - p_a$, exprimées en hauteur de mercure (p_a étant la pression atmosphérique, égale en moyenne à 680 millimètres de mercure, au lieu de l'expérience); n est un coefficient dont la valeur moyenne est 0,0238.

La vitesse dans la conduite, w, se déduit de la vitesse d'écoulement au dehors W, par la relation $w = 0,93 W \frac{d^2}{D^2}$, 0,93 étant un coefficient de contraction correspondant à l'orifice employé.

11. Circulation de l'air dans les galeries de mines. — Les expériences précises, qui déterminent la chute de pression de l'air en mouvement dans les galeries de mines, sont peu nombreuses : nous citerons celles de M. Devillez en Belgique, et de M. Murgue à Bessèges. M. Murgue adopte la forme, que nous avons vu employer plusieurs fois :

$$p_1 - p_2 = h = \alpha \frac{\chi}{\omega} L w^2 \times \frac{\varpi}{1,2}$$

χ et ω étant le périmètre et la surface de la section, L la longueur de la galerie, 1,2 le poids moyen du mètre cube d'air dans les mines et ϖ son poids dans chaque cas particulier, α un coefficient; les expériences, d'une part vérifient la formule, et, d'autre part, déterminent α.

On choisissait deux points distants d'une centaine de mètres, dans une galerie de section uniforme : on relevait la différence de pression entre les deux extrémités

de cette galerie, à l'aide de deux tuyaux, terminés par des coudes à angle droit voisins de la paroi, orientés tous deux dans la même direction; ces deux tuyaux venaient aboutir à un manomètre à eau, avec branches de sections fort inégales : la variation du niveau dans la petite branche était mesurée avec une sorte de cathétomètre permettant d'apprécier le centième de millimètre, ou au moins le cinquantième, malgré les difficultés de l'installation d'un appareil de ce genre dans une mine.

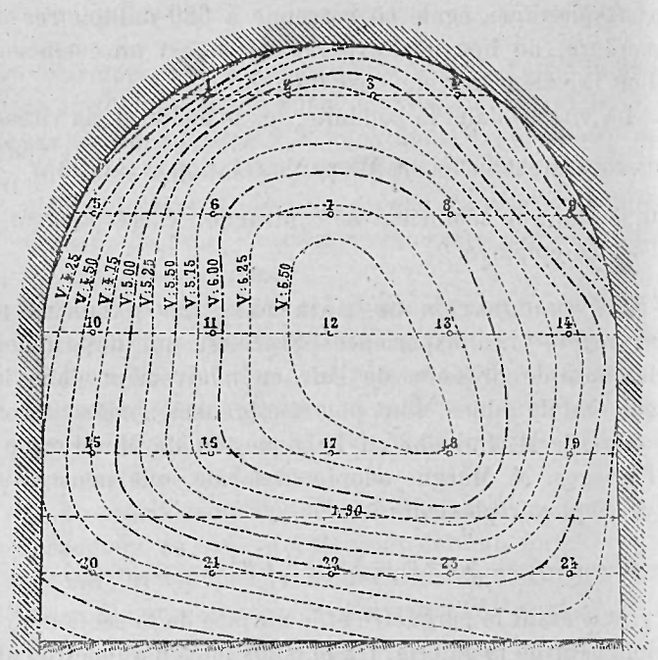


Fig. 5. — Vitesses de l'air dans une galerie voûtée.

La vitesse moyenne w était déduite d'une série de relevés à l'anémomètre dans l'étendue d'une section; les courbes d'égales vitesses pour diverses sections, données dans le mémoire de M. Murgue, semblent indiquer de grandes irrégularités de répartition. Les *fig.* 5 et 6 en

reproduisent deux exemples, qui ne sont pas des plus irréguliers.

Pour des variations importantes de la vitesse moyenne, entre 1 et 5 mètres par seconde, dans une même galerie, la différence des pressions s'est montrée à peu près proportionnelle au carré de cette vitesse. Les fortes différences des vitesses réelles dans une section ne permettaient même pas d'espérer une telle approximation.

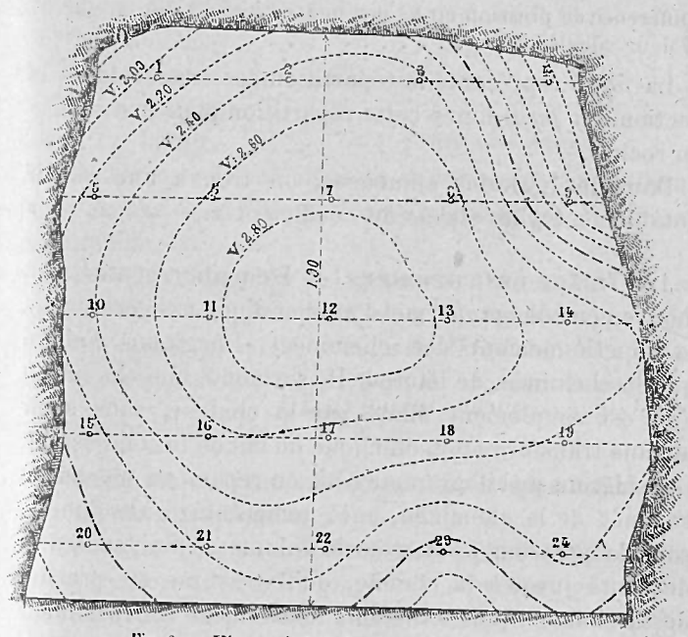


Fig. 6. — Vitesses de l'air dans une galerie au rocher.

On a trouvé pour le coefficient α les valeurs suivantes :

Dans les galeries voûtées.	0,00030	à	0,00062
Dans les galeries à parois nues.	0,00086	à	0,00122
Dans les galeries avec cadres de boisage .	0,00144	à	0,00238

Les valeurs les plus petites correspondent aux galeries rectilignes dont la section est la plus grande et la plus

régulière. Dans les galeries avec cadres de boisage, le périmètre et la section sont mesurés à l'intérieur des cadres.

Nous citerons les chiffres d'une des expériences de M. Murgue :

Galerie voûtée, rectiligne, longue de	110m ,9
Section moyenne	3m²,447
Périmètre moyen	7m ,02
Poids du mètre cube d'air	1k5 ,184
Vitesse moyenne	4m ,375
Différence de pression en kg par mètre carré	1 ,29
Valeur calculée de α	0 ,0003

La *fig.* 5 représente la répartition des vitesses dans la section. La *fig.* 6 donne cette répartition pour une galerie au rocher.

Dans les galeries sinueuses, on trouve une valeur notablement plus élevée du coefficient α.

12. TIRAGE DES CHEMINÉES. — L'équation générale du mouvement des gaz permet d'étudier d'une manière simple le fonctionnement des cheminées. Imaginons d'abord que la cheminée, de hauteur H, surmonte une chauffe où l'air est simplement dilaté par la chaleur, sans subir aucune transformation chimique du fait de la combustion. Considérons un kilogramme d'air en repos, au niveau du sommet de la cheminée, à la température absolue t_1, sous la pression p_1 et avec le volume v_1. Suivons-en la descente jusqu'à la chauffe, qu'il traverse en prenant de la chaleur, puis dans son mouvement ascensionnel; la cheminée le rejette avec la vitesse w_2, à la température t_2, et avec le volume v_2, sous la pression initiale p_1; écrivons, pour ce trajet, l'équation générale, en supposant négligeable l'effet des frottements et des actions analogues. Le travail de la pesanteur étant nul sur le parcours, l'équation générale s'écrit sous la forme :

$$\frac{w^2}{2g} = \int_{v_1}^{v_2} p\,dv - p_1(v_2 - v_1) = \int_{v_1}^{v_2} (p - p_1)\,dv.$$

Nous mettons ainsi en évidence les différences de pression $p - p_1$, qu'on peut déduire des observations en divers points du trajet.

Représentons les pressions en ordonnées et les volumes du kilogramme en abscisses (*fig.* 7) :

Soit $OE = p_1$, pression de l'atmosphère au niveau du sommet de la cheminée;

$Oa = v_1$, volume d'un kilogr. d'air extérieur; la variation de ce volume depuis le haut jusqu'au bas de la cheminée, à l'extérieur, est en général négligeable;

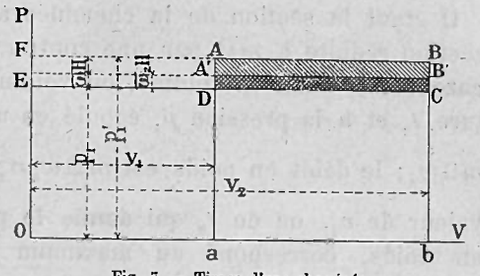


Fig. 7. — Tirage d'une cheminée.

$Ob = v_2$, volume du kilogramme d'air rejeté par la cheminée à la température t_2 et à la pression p_1.

La pression $p'_1 = OF$, à la base de la cheminée, hors de l'appareil, est égale à $p_1 + \varpi_1 H$, ϖ_1 étant le poids du mètre cube d'air extérieur $\left(\varpi_1 = \frac{1}{v_1}\right)$.

Faisons maintenant quelques hypothèses simples sur le mode de chauffage de l'air.

Supposons l'air chauffé de t_1 à t_2, en bas de l'appareil, à la pression extérieure p'_1; c'est admettre qu'il n'y a aucune chute de pression entre l'extérieur et la chauffe, largement ouverte; supposons invariable la température de l'air, pendant le reste du parcours : comme la variation de la pression, pendant l'ascension dans la cheminée, ne produit qu'une modification insignifiante du volume v :

$$\int_{v_1}^{v_2} (p - p_1)\,dv = (v_2 - v_1)(p'_1 - p_1)$$

c'est le rectangle ABCD qui figure, à une échelle déter-

minée, $\frac{w_2^2}{2g}$, demi-force vive pour un kilogramme : n'oublions pas que, d'après nos hypothèses, aucune quantité de chaleur ne sort du courant pendant le trajet.

Ω étant la section de la cheminée à son débouché, section réduite à $m\Omega$ par une contraction de la veine gazeuse, le débit en volume, ou volume à la température t_2 et à la pression p_1 écoulé en une seconde, est $m\Omega w_2$; le débit en poids est $m\Omega w_2 \varpi_2$, ou $\frac{m\Omega w_2}{v_2}$. La valeur de v_2, ou de t_2 qui donne le plus grand débit en poids, correspond au maximum de la fonction $\frac{m\Omega\sqrt{2g(p_1'-p_1)(v_2-v_1)}}{v_2}$. Égalant à zéro la dérivée par rapport à v_2, on trouve la relation bien connue $v_2 = 2v_1$ ou $t_2 = 2t_1$.

Imaginons maintenant une chauffe où la température de l'air s'élève de t_1 à t_2, suivie d'une large cheminée, telle que la pression dans la chauffe ne soit que $p_1 + \varpi_2 H$, ϖ_2 étant le poids du mètre cube d'air à t_2. Alors $\frac{w_2^2}{2g} = (v_2-v_1)(p_1 + \varpi_2 H - p_1) = (v_2-v_1)\varpi_2 H$, représenté par le rectangle A'B'CD (*fig.* 7).

Le débit en poids, $m\Omega w_2 \varpi_2$, est égal à

$$\frac{m\Omega}{v_2}\sqrt{\frac{(v_2-v_1)2gH}{v_2}}.$$

La valeur de v_2 qui donne le plus grand débit, obtenue en égalant à zéro la dérivée par rapport à v_2 est : $v_2 = 1{,}5\,v_1$.

Les variations du débit en poids sont figurées par un tracé fort simple : dans la première hypothèse, le rectangle ABCD (*fig.* 7) représente $\frac{w_2^2}{2g}$; AD est constant quel que soit v_1; w_2^2 varie donc comme la longueur DC,

et w_2 comme la racine carrée de DC. Le débit en poids est proportionnel à $w_2 : v_2$ ou au quotient de la racine carrée de DC par EC. Prenons comme unité ED, qui représente la quantité constante v_1; traçons un cercle

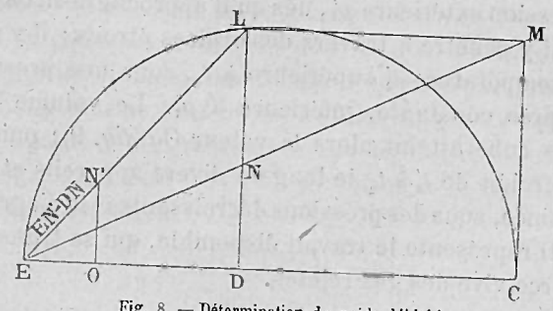


Fig. 8. — Détermination du poids débité.

sur EC comme diamètre (*fig.* 8) : la perpendiculaire DL est moyenne proportionnelle de ED et DC :

$$DL^2 = ED \times DC = 1 \times DC$$
$$DL = \sqrt{DC}$$

Soit CM = DL, sur la perpendiculaire en C à DC; joignons EM, qui coupe DL en N :

$$DN = \frac{CM \times ED}{EC} = \frac{CM \times 1}{EC} = \frac{\sqrt{DC}}{v_2}.$$

La longueur DN est proportionnelle au débit en poids de la cheminée.

Dans la seconde hypothèse, c'est le rectangle A'B'CD (*fig.* 7) qui donne $\frac{w_2^2}{2g}$; il faut diviser l'expression du débit précédemment trouvée par $\sqrt{v_2}$, c'est-à-dire par EL, car $\overline{EL}^2 = ED \times EC = 1 \times v_2$ (*fig.* 8). Soit EN' = DN : abaissons N'O perpendiculaire sur EC : dans les triangles semblables N'EO, LED,

$$EO = \frac{EN' \times ED}{EL} = \frac{ND \times 1}{EL} = \frac{ND}{\sqrt{v_2}}.$$

Nos deux hypothèses correspondent à une chute de pression *après* et *avant* la chauffe : la vitesse est moindre dans le second cas, le tirage est moins actif.

En réalité, l'air commence à s'échauffer un peu, sous la pression extérieure p'_1, dès qu'il approche de la chauffe ; puis il y pénètre à travers des orifices étroits ; il y prend une température t'_2 supérieure à t_2, sous une pression à peu près constante, inférieure à p'_1. Le volume v_2 du mètre cube atteint alors la valeur Og (*fig.* 9) ; puis l'air se refroidit de t'_2 à t_2 le long de divers appareils et de la cheminée, sous des pressions décroissantes ; le diagramme AGCD représente le travail disponible, qui se transforme en force vive des gaz rejetés.

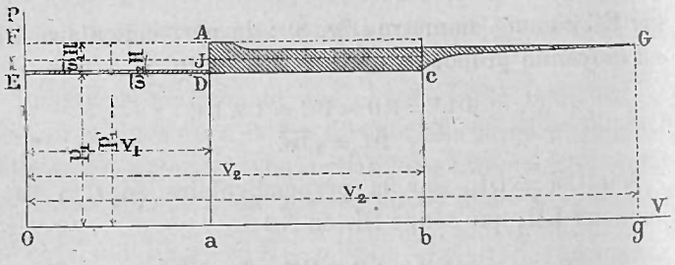


Fig. 9. — Tirage d'une cheminée.

Dans la combustion, l'air n'est pas seulement chauffé, comme nous l'avons supposé jusqu'ici : une partie de l'oxygène se combine au carbone et à l'hydrogène du combustible. Cette combinaison ne change pas seulement la température de la masse gazeuze, mais aussi son volume spécifique et son poids. Admettons qu'on puisse substituer par la pensée, à cette transformation complexe, la simple communication aux gaz d'une quantité de chaleur correspondant au changement de leur température et au travail externe résultant de la variation du volume spécifique ; cette variation est souvent négligeable, vu la forte proportion de l'azote et de l'air non

brûlé. Sur le diagramme (*fig.* 9) les volumes des gaz chauds, Og et Ob, se trouveront légèrement modifiés si la correction est sensible.

En outre, le travail d'élévation du combustible, depuis le bas jusqu'en haut de la cheminée, entre dans notre équation générale ; notre kilogramme d'air se charge d'un certain poids P en passant dans le foyer : par exemple, si 16 kilogrammes d'air brûlent 1 kilogramme de combustible, laissant 100 grammes de cendres et d'escarbilles, le kilogramme d'air élève 56 grammes à la hauteur H ; l'équation est alors :

$$\frac{w_2^2}{2g} + \mathrm{PH} = \int_1^{v_2} (p - p_1)\, dv.$$

Pour figurer le terme PH, remarquons que le rectangle FADE (*fig.* 9) représente le produit de H par 1 kilogramme, car $v_1 = \frac{1}{\varpi_1}$, $\mathrm{ED} = v_1$, $\mathrm{EF} = \varpi_1 \mathrm{H}$; donc $\mathrm{ED} \times \mathrm{EF} = \mathrm{H} \times 1$. Prenons $\mathrm{EI} = \mathrm{P}$ (0,056 EF dans l'exemple choisi) ; le rectangle IJDE figure le travail PH : on le retranche de l'aire AGCD pour calculer la vitesse w_2.

En observant la pression et la température des gaz aux différents points du parcours, ainsi que le régime de la combustion, on peut tracer le diagramme. Dans la plupart des appareils, il suffira de connaître la pression en un petit nombre de points pour obtenir une approximation suffisante. C'est surtout la pression dans la chauffe, au-dessus du combustible, qu'il convient de mesurer.

La même méthode s'applique, légèrement modifiée, aux chaudières à tirage forcé : appelons p'_1 la pression dans la chambre de chauffe ou dans le cendrier, suivant le mode de soufflage ; prenons-y le kilogramme d'air et suivons-le jusqu'au débouché de la cheminée ; l'équation des forces vives devient

$$\frac{w^2}{2g} + \mathrm{H}(1 + \mathrm{P}) = \int_{v_1}^{v_2} p\,dv + p'_1 v_1 - p_1 v_2 = (p'_1 - p_1) v_1 + \int_{v_1}^{v_2} (p - p_1)\, dv$$

$H(1+P)$ étant le travail d'élévation du kilogramme d'air, chargé du poids P d'éléments provenant du combustible.

$\frac{w_2}{2g} + H(1+P)$ est représenté (*fig.* 10) par le diagramme FAGCDE; $H(1+P)$ est le rectangle de base $ED = v_1 = \frac{1}{\varpi_1}$ et de hauteur $EI = \varpi_1 H(1+P)$, poids d'une colonne d'air à la température initiale de hauteur H, augmenté de la fraction P : la demi-force vive $\frac{w^2}{2g}$ est donc figurée par la surface FAGCDJI, couverte de hachures.

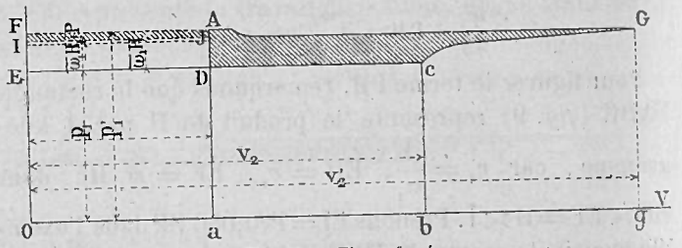


Fig. 10. — Tirage forcé.

Les frottements et les résistances, dont nous n'avons pas tenu compte, réduisent la demi-force vive $\frac{w_2^2}{2g}$. Pour les évaluer, on part de la relation empirique déjà plusieurs fois appliquée : on admet qu'il se produit, le long des parois, sur une longueur L, une chute de pression supplémentaire $\varpi \frac{\gamma}{\omega} B w^2 L$, les lettres ayant toujours même signification. Dans le cas simple où la cheminée conserve la section Ω sur toute la hauteur H, et où la température de la fumée ne varie pas dans le parcours, le frottement exige une différence supplémentaire des pressions aux deux extrémités égale à $\varpi_2 \frac{\gamma}{\Omega} B w^2 H$; la vitesse dans la section Ω, w, diffère de la vitesse finale w_2, dans la section contractée $m\Omega$; le travail correspondant au frottement, sur un kilogramme d'air, s'obtient en multipliant la différence des pressions par le volume v_2, et, comme $\varpi_2 v_2 = 1$, c'est $\frac{\gamma}{\Omega} B w^2 H$.

Les données expérimentales d'où on peut déduire le coefficient B sont peu nombreuses. En outre, beaucoup de causes augmentent les résistances, telles que le passage à travers la grille et le combustible, les sinuosités et coudes des carneaux, l'irrégularité de la section de la cheminée.

Avec de telles incertitudes, la méthode pratique la plus simple pour déterminer les dimensions d'une cheminée, devant donner un débit déterminé, est de faire d'abord le calcul en supposant que toute la puissance motrice de l'appareil soit employée à créer la demi-force vive finale $\frac{w_2^2}{2g}$; en d'autres termes, on calculera le rectangle ABCD de la *fig.* 7. Les tracés de la *fig.* 8 montrent que le débit en poids varie fort peu, tant que la température centigrade des gaz reste comprise entre 175 et 400. Puis on appliquera au débit ainsi calculé un coefficient de réduction, déterminé d'après les renseignements disponibles. Avec les dispositions usuelles des chaudières, on donnera à une cheminée haute de 20 à 25 mètres une section d'un mètre carré, pour brûler au tirage naturel environ 500 kilogrammes de houille par heure.

La vitesse de sortie des gaz doit être au moins de $1^m,75$ par seconde, pour que le vent ne coupe pas le tirage.

13. Passage des gaz dans les tubes de chaudières. — En traversant un tube de chaudière, les gaz se refroidissent fortement; la variation de pression est assez faible pour que le volume du kilogramme soit sensiblement proportionnel à la température absolue. Peut-on encore appliquer les règles empiriques du frottement des gaz? Abstraction faite du frottement, la formule usuelle

de l'écoulement, $\frac{w^2}{2g} = \int_{p_2}^{p_1} v dp$ donnerait la vitesse en fonction des pressions et des volumes depuis le foyer jusqu'à la boîte à fumée.

Pour déterminer la meilleure proportion des tubes, notre regretté collègue Henry a fait exécuter des expériences sur la vaporisation des locomotives : une chaudière, munie d'une grille de $2^{m2},21$, portait 185 tubes au diamètre intérieur de 46 millimètres, avec embouchure réduite à 35 millimètres par des viroles; leur longueur a été successivement de 7^m—6^m—5^m—$4^m,5$—4^m—$3^m,5$—3 mètres. La différence de pression entre le cendrier et la boîte à fumée mesurait le tirage; cette différence correspondait à 25, 45 ou 75 millimètres d'eau, ou kilogrammes par mètre carré. La pression dans le foyer n'a pas été observée : les expériences ne permettent donc pas de séparer l'action des tubes et celle de la grille, chargée d'une couche de briquettes épaisse de 25 centimètres environ. Les chiffres relevés, qui permettent d'étudier le mouvement des gaz, donnent la consommation du combustible par heure, le volume d'air froid par kilogramme de charbon et la température dans la boîte à fumée.

Nous rapportons ces chiffres pour une des séries d'expériences, faites avec un foyer sans voûte en briques et sans bouilleur.

	LONGUEUR des tubes en mètres	CONSOMMATION de charbon par heure en kilogrammes			MÈTRES CUBES d'air froid par kilogramme de charbon			TEMPÉRATURE des gaz dans la boîte à fumée, en degrés centigrades		
Tirage en mm. d'eau	»	25	45	75	25	45	75	25	45	75
	7	353	504	668	9,8	9,2	9,0	222	236	252
	6	370	525	697	10,4	10,1	8,9	238	260	279
	5	404	565	752	10,9	10,7	»	270	294	317
	4,5	428	590	786	10,5	8,7	8,4	292	319	348
	4	449	615	817	9,7	8,7	8,7	320	352	384
	3,5	462	636	844	9,7	10,1	9,3	353	390	426
	3	466	650	863	9,9	9,1	9,0	393	434	480

Ces chiffres montrent, pour chaque tubulure, un poids d'air débité à peu près proportionnel à la racine carrée de la différence de pression produisant le tirage. Pour un même tirage, les résistances augmentent avec la longueur des tubes et, par suite, le débit diminue : l'effet de la résistance des tubes est plus fort que ne semble l'indiquer la proportion des chiffres d'une colonne : car avec un tube plus long, d'une part, le débit étant moindre, la chute de pression entre le cendrier et le foyer doit être réduite; d'autre part, les gaz rejetés dans la boîte à fumée étant moins chauds, la force vive du kilogramme est moindre à égalité de débit.

Des expériences plus nombreuses et plus variées encore seraient utiles pour permettre de donner une loi du mouvement des gaz : on préciserait les résultats en étudiant le mouvement des gaz chauds dans un tube unique traversant une masse d'eau : on déterminerait à la fois la vitesse de ces gaz sous un excès de pression donné, et la transmission de chaleur à l'eau.

De récentes expériences, faites à la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, ont porté sur les tubes Serve à ailettes (*fig.* 11); les résultats de ces expériences n'ont pas encore été publiés.

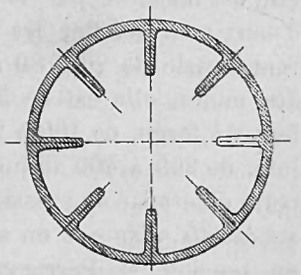


Fig. 11. — Tube à ailettes.

14. VENTILATEURS A FORCE CENTRIFUGE. — Il existe deux sortes bien distinctes de ventilateurs : les uns, dits *rotatifs*, consistent en chambres de capacité variable, qui prennent l'air à la pression inférieure p_1, le compriment, puis le refoulent à la pression supérieure p_2; en principe, ces appareils sont équivalents à des compresseurs à piston; les autres ventilateurs, dits *à force centrifuge*, ont

pour organe essentiel une roue munie d'aubes, qui impriment à l'air une vitesse suffisante pour surmonter la différence de pression $p_1 - p_2$, bien que les deux enceintes, où règnent ces pressions différentes, communiquent sans cesse directement à travers l'appareil. Les pompes centrifuges et les turbines ont en principe de grandes analogies avec ces ventilateurs : M. Rateau donne à tous ces appareils le nom commun de *turbo-machines*.

Nous nous occuperons d'abord des ventilateurs de cette seconde sorte. Ils sont *aspirants* ou *soufflants*, suivant la manière dont ils sont installés ; il n'en résulte le plus souvent aucune différence essentielle de l'appareil ; cependant les ventilateurs dépourvus d'enveloppe extérieure ne pourraient être soufflants.

Les différences de pressions, $p_2 - p_1$, varient beaucoup suivant les cas. Pour la ventilation des édifices, cette différence est de 2 à 10 kilogrammes par mètre carré ; elle est mesurée par le même nombre de millimètres d'eau ; pour souffler les foyers de chaudières, la différence varie de 20 à 80 millimètres ; pour la ventilation des mines, elle est de 50 à 150 millimètres ; pour les feux de forge, de 100 à 200 millimètres ; pour les cubilots, de 200 à 400 millimètres. Quand on veut dépasser cette différence de pression, on fait usage de ventilateurs successifs, disposés en série, comme des piles montées en tension. M. Perrigault monte ainsi successivement quatre ventilateurs, pour obtenir des pressions de $1^m,50$ d'eau.

La théorie de ces appareils ne permet guère de prévoir exactement les diverses circonstances de leur fonctionnement ; pour l'établir, on assimile l'air à un fluide de densité constante, correspondant à la pression moyenne $\frac{p_1 + p_2}{2}$ et à la température dans le ventilateur, puis on applique à ce fluide les lois de l'hydraulique.

La conception la plus simple du ventilateur, dans les meilleures conditions de marche, est alors la suivante : l'air est pris au repos sous la pression initiale p_1 ; il est amené jusqu'à la couronne tournante, sans changements brusques de direction, sans frottements ; il pénètre sans choc dans les canaux formés par les aubes de cette couronne : à cet effet, la vitesse relative de l'air par rapport à la couronne, w_1, doit être tangente à la surface de l'aube à son point d'entrée ; cette vitesse relative w_1, la vitesse absolue v_1 de l'air et la vitesse u_1 du ventilateur forment un triangle ABC (*fig.* 12). Dans la traversée de la couronne tournante, on suppose encore le mouvement continu et les frottements négligeables ; l'air, en la quittant, est animé d'une vitesse relative w_2 ; cette vitesse w_2, combinée avec la vitesse d'entraînement u_2 de la couronne, donne la vitesse absolue v_2. Le fluide doit enfin arriver au repos, d'un mouvement continu, en prenant la pression p_2. On admet en outre que tous les filets sont guidés de la sorte, suivant la même loi ; ce qui s'éloigne beaucoup de la vérité pour certains appareils.

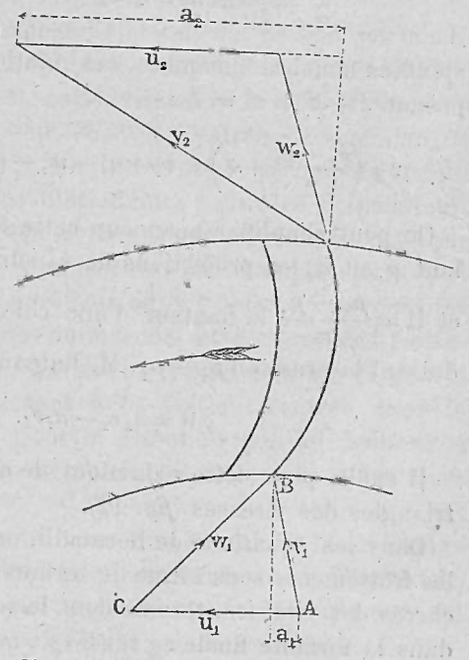


Fig. 12. — Circulation de l'air dans un ventilateur.

Dans le mouvement ainsi défini, on écrit l'équation de

Bernoulli, successivement pour le trajet jusqu'à l'entrée dans la couronne tournante, pour le mouvement relatif à travers la couronne et enfin depuis la couronne jusqu'au repos. p et p' étant les pressions à l'entrée et à la sortie des canaux de la couronne, ϖ le poids du mètre cube d'air, z, z', z'' les élévations verticales dans les trois parties du trajet, on obtient ainsi les relations :

$$\frac{p_1}{\varpi} = \frac{p}{\varpi} + \frac{v_1^2}{2g} + z$$
$$\frac{p}{\varpi} + \frac{w_1^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} = \frac{p'}{\varpi} + \frac{w_2^2}{2g} - \frac{u_2^2}{2g} + z'$$
$$\frac{p'}{\varpi} + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_2}{\varpi} + z''$$

ajoutées membre à membre, ces relations deviennent, en posant $z + z' + z'' = Z$:

$$2g\left(\frac{p_2 - p_1}{\varpi} + Z\right) = v_2^2 + u_2^2 - w_2^2 - (v_1^2 + u_1^2 - w_1^2).$$

On peut simplifier beaucoup cette formule : en appelant a_1 et a_2 les projections de v_1 sur u_1 et de v_2 sur u_2, et $H = \frac{p_2 - p_1}{\varpi}$ la hauteur d'une colonne de fluide produisant la pression $p_2 - p_1$, M. Rateau écrit, pour $Z = 0$:

$$g\,H = a_2 v_2 - a_1 v_1.$$

Il suffit, pour cette réduction, de considérer les deux triangles des vitesses (*fig.* 12).

Dans les équations de Bernoulli, on peut faire figurer les frottements sous forme de termes proportionnels aux carrés des vitesses, termes dont le total H′ s'ajoute à H dans la formule finale :

$$g(H + H') = a_2 v_2 - a_1 v_1.$$

Si l'on appelle Q le débit en volume de l'appareil, c'est-à-dire le nombre de mètres cubes débités en une seconde,

le débit en poids est ϖQ. La *puissance utile*, ou travail utile en une seconde, est $Q(p_2 - p_1) = \varpi QH$. La puissance perdue en frottements de l'air est $\varpi QH'$; il faut y ajouter la puissance ϖQh consommée par les frottements des axes et autres pièces de la machine. De la puissance totale fournie par le moteur, on transforme en puissance utile la fraction $\frac{H}{H + H' + h}$. L'expression ϖQH de la puissance utile n'est pas rigoureusement exacte, mais Q étant mesuré sous la pression moyenne, l'erreur est bien faible : elle est d'ailleurs sans importance, vu le peu de rigueur de toute la théorie du ventilateur.

Comment est disposé l'appareil qui réalise ces conditions de marche? L'air doit être progressivement amené à la vitesse v_1, et cette vitesse doit être dirigée de manière à éviter tout choc à l'entrée, comme on le voit sur la *fig.* 12. Un *distributeur* permet de guider convenablement les filets fluides ; mais ce distributeur, qu'on trouve dans les turbines hydrauliques, n'existe que rarement dans les ventilateurs, où il risque d'être plus nuisible qu'utile, parce qu'on s'y écarte souvent des conditions théoriques de marche, et à cause des frottements qu'il donne. Le mieux paraît être de placer la vitesse v_1 normalement à la section d'entrée dans la couronne mobile : c'est la direction que lui donnent le plus facilement les conduites fixes d'amenée. a_1 est alors nul et $g\,H = a_2 v_2$.

Les canaux formés par les aubes de la couronne mobile doivent guider les filets fluides sans donner lieu à des remous et à des tourbillons ; il convient à cet effet que ces conduits ne s'évasent pas dans le sens du mouvement de l'air, d'après M. Rateau, qui recommande même de restreindre légèrement leur section normale. Pour bien guider tous les filets, il faudrait beaucoup rapprocher les aubes ; mais on augmenterait par trop les frot-

tements, et la pratique conduit au contraire à écarter notablement ces aubes.

A la sortie de la couronne mobile, la vitesse v_2 doit être progressivement éteinte; l'*amortisseur* produit cet important résultat : c'est la *cheminée évasée* du ventilateur Guibal, à débit partiel ; c'est la *volute* à section croissante qui entoure la couronne et se prolonge au dehors par une cheminée évasée; c'est l'*amortisseur à disques*, composé de deux rondelles parallèles ou plutôt à section légèrement divergente, laissant une ouverture cylindrique libre sur toute leur circonférence; la section de cette ouverture est supérieure à celle que la couronne offre à l'air rejeté : cet appareil a été appliqué aux turbines centrifuges sous le nom de *diffuseur de Boyden*; c'est l'*amortisseur compound* du ventilateur Rateau, formé de la combinaison de deux disques avec une volute extérieure. Des cloisons fixes suivant la direction des filets les guideraient mieux dans l'amortisseur; mais, comme celles du distributeur, elles augmentent les frottements et les remous, puis elles deviennent franchement nuisibles lorsqu'on s'écarte des conditions normales de marche; c'est pourquoi elles sont rarement employées.

Parfois les ventilateurs sont dépourvus d'amortisseur et leur couronne rejette l'air directement dans l'enceinte à la pression p_2; on cherche alors à imprimer aux filets gazeux ainsi rejetés une faible vitesse v_2, qui doit être normale à la surface de sortie, pour donner le débit le plus grand qu'elle permet : c'est ainsi que beaucoup de turbines rejettent l'eau. En se reportant à l'équation $gH = a_2 v_2 - a_1 v_1$, on voit qu'en réduisant v_2 on doit augmenter a_2 et par suite w_2; cette augmentation de la vitesse relative exagère les frottements dans les canaux de la couronne.

Si un ventilateur, fonctionnant comme nous venons de le supposer, donne un débit Q avec une différence de

pression $p_2 - p_1$, nous retrouverons dans un appareil géométriquement semblable, *marchant avec la même vitesse périphérique* u_2, les mêmes triangles des vitesses (*fig.* 12) et les mêmes équations de Bernoulli : ce nouveau ventilateur fonctionnera de même sous la différence de pression $p_2 - p_1$, mais le débit Q variera proportionnellement aux aires des sections similaires, c'est-à-dire au carré du rapport de similitude.

Considérons maintenant un seul ventilateur, tournant à des vitesses différentes : nous retrouvons toujours les mêmes conditions de marche, si la différence des pressions, $p_2 - p_1$, varie comme le carré des vitesses homologues : dans nos équations, le terme $p_2 - p_1$ est, en effet, égal à une somme de carrés de vitesses : la *fig.* 12 ne changera pas; seule l'échelle en variera. Le débit Q est alors proportionnel à la vitesse; la puissance utile $Q(p_2 - p_1)$ est donc proportionnelle au cube de la vitesse. On en peut dire autant de la puissance consommée en frottements de l'air, les frottements étant à peu près proportionnels au carré de la vitesse; c'est seulement pour la puissance absorbée par les frottements de l'arbre du ventilateur, $\varpi Q h$, que cette proportion n'existe pas; mais h est habituellement petit à côté de H et de H'.

On peut donc toujours concevoir un ventilateur d'un type déterminé, fonctionnant dans les meilleures conditions théoriques, pour une différence de pression et un débit donnés : car si nous prenons un ventilateur quelconque de ce type, nous pouvons le faire tourner à une vitesse telle qu'il nous donne la différence de pression voulue ; puis avec un appareil semblable, marchant à la même vitesse périphérique, nous obtiendrons le débit voulu.

Pour la plupart des applications, et notamment pour la ventilation des mines, la donnée première est le débit Q; mais pour réaliser ce débit, une certaine différence de

pression est nécessaire entre les deux extrémités du circuit de l'air dans les appareils ou dans les galeries de la mine. On imagine facilement que ce circuit vient se souder aux deux extrémités du ventilateur, qui se trouve alors intercalé sur un parcours fermé.

Dans ce circuit, on admet souvent que les résistances sont proportionnelles au carré de la vitesse de l'air ou du débit, de sorte que, si on veut l'augmenter, la différence de pression $p_2 - p_1$ devra croître comme le carré du débit. Il en est de même dans le ventilateur, qui se trouvera toujours en harmonie avec le circuit, quelle que soit la vitesse qu'on lui donne : le débit sera proportionnel à cette vitesse et la puissance nécessaire croîtra comme le cube de la vitesse. M. Rateau indique toutefois, d'après certaines expériences faites dans les mines, que la résistance croîtrait comme la puissance 1,75 de la vitesse, et non comme le carré.

La relation entre la dépression $p_2 - p_1$ et le débit Q, qui en résulte dans une mine, est caractérisée par l'*orifice équivalent* de M. Murgue, ou orifice en mince paroi de surface telle qu'il donne le débit Q entre deux enceintes où règnent les pressions p_2 et p_1. La vitesse d'écoulement est égale à $\sqrt{2g\frac{p_2 - p_1}{\varpi}}$; la section réelle de passage est supposée réduite par la contraction dans le rapport de 1 à 0,65. L'orifice équivalent est donc égal à $\frac{Q}{0{,}65\sqrt{2g\frac{p_2 - p_1}{\varpi}}}$ ou à $\frac{Q}{2{,}63\sqrt{p_2 - p_1}}$, avec la valeur moyenne $\varpi = 1{,}2$. M. Rateau appelle *ouverture du circuit extérieur* l'expression peu différente $\frac{Q}{\sqrt{g\frac{p_2 - p_1}{\varpi}}}$.

Mais cette harmonie entre le ventilateur et le circuit sur lequel il travaille, possible dans certains cas, ne

subsistera pas toujours : dans une mine, l'état de l'atmosphère agit sur la circulation de l'air, qu'elle facilite ou contrarie ; d'autre part, l'extension des travaux allonge les galeries parcourues par l'air ; dans une forge, le nombre des feux soufflés varie. Comment le ventilateur s'accommode-t-il à ces conditions nouvelles? La question peut se ramener aux termes suivants : faire varier le débit pour une même dépression $p_2 - p_1$.

Le vannage du ventilateur Guibal, en modifiant le débouché de la couronne, fournit une solution du problème satisfaisante en théorie et fort simple en pratique. Toutefois, le débouché partiel, sur un arc peu étendu de la circonférence, a un double inconvénient : les dimensions de l'appareil sont beaucoup augmentées pour un même effet, et le mouvement discontinu des colonnes fluides à travers la couronne cause des pertes de force vive.

La plupart des ventilateurs sont dépourvus de vannage et travaillent toujours à débouché complet. Lorsque le débit vient à varier pour une même dépression, les conditions que nous avons supposées, en écrivant les équations de Bernoulli, ne sont plus complètement réalisées. Si le courant était guidé par des directrices fixes à l'entrée et à la sortie de la couronne mobile, il y aurait des chocs en ces deux points du parcours, et par suite, perte de force vive. L'absence de directrices fixes réduit ces chocs en permettant une certaine déviation des filets : néanmoins des actions analogues se produisent et le rapport $\frac{H'}{H}$ augmente. La théorie ne nous apprend pas quelle est cette augmentation, et seules les expériences directes sur les appareils permettent de l'apprécier. Un type d'appareil est avantageux s'il se prête à une large variation du débit pour la même dépression sans que le rapport $\frac{H'}{H}$ augmente par trop.

Nous avons supposé que le ventilateur séparait deux enceintes où l'air était en repos. En réalité, une seule de ces enceintes existe; c'est celle où règne la pression p_1 pour le ventilateur soufflant, et la pression p_2 pour le ventilateur aspirant : il n'y a pas, entre l'appareil et le circuit de l'air, de chambre intermédiaire, avec la pression p_2 ou p_1. Cette circonstance ne change en rien la théorie, car il est toujours facile d'imaginer une telle chambre où l'air perdrait sa vitesse pour la reprendre ensuite, ce qui ne modifierait pas l'écoulement; mais elle rend plus délicates les expériences, car la mesure précise de la pression réelle dans un courant animé d'une grande vitesse est moins facile que dans une masse stagnante.

Pour bien se rendre compte de l'action d'un ventilateur, nous avons vu qu'on pourrait remplacer tout le circuit de l'air par le passage à travers un orifice, *orifice équivalent* de M. Murgue, $\frac{Q}{0{,}65\sqrt{2gH}}$, *ouverture* de M. Rateau, $\frac{Q}{\sqrt{gH}}$; on peut de même définir le terme H′, correspondant aux frottements dans le ventilateur, par la section d'un orifice qui donnerait le débit Q sous la différence de pression correspondant à cette hauteur du fluide H′; c'est l'*orifice de passage* que M. Murgue prend égal à $\frac{Q}{0{,}65\sqrt{2gH'}}$, M. Rateau à $\frac{Q}{\sqrt{gH'}}$. L'observation du passage de l'air à travers le ventilateur au repos donne une valeur approximative de cet orifice : on mesure le débit et la différence des pressions avant et après l'appareil. On peut admettre que les frottements se produisent à peu près de même à travers la couronne mobile et dans les parties fixes qui la précèdent et la suivent, ces frottements étant toujours proportionnels au carré des vitesses. Toutefois, l'entrée et la sortie ne se font pas comme dans la marche normale : il s'y produit de brusques déviations des filets fluides.

Pour faire connaître les services que peut rendre un ventilateur, nous devons joindre au dessin qui le représente au moins les indications suivantes : vitesse de marche, débit Q, dépression correspondante $p_2 - p_1$, lorsque les filets satisfont aux conditions théoriques les plus favorables; puissance que doit alors fournir le moteur. En comparant la puissance utile $Q(p_2 - p_1)$ à ce dernier terme, nous aurons le *rendement mécanique* de l'appareil.

Nous pouvons étendre ce renseignement unique en nous rappelant que le fonctionnement se fait toujours d'une manière analogue tant que le rapport $\frac{Q^2}{p_2 - p_1}$ est constant : Q est proportionnel aux vitesses de l'air, qui varient elles-mêmes comme celles de l'appareil : le débit est en raison directe du nombre de tours par minute, et la dépression varie comme le carré de ce nombre.

On peut appliquer ces renseignements aux appareils du même type, mais de dimensions différentes, en remarquant que pour une même vitesse de la circonférence, on retrouvera les mêmes dépressions, avec des débits proportionnels aux surfaces de passage ou au carré du rayon de la couronne.

En résumé, on peut caractériser un type d'appareil par deux coefficients convenablement définis, d'où on déduira, pour chaque dimension et pour chaque vitesse, le débit et la dépression correspondante.

Ces coefficients permettront de juger si un appareil convient pour l'usage qu'on en veut faire. Certaines applications demandent de grands débits avec de faibles dépressions, d'autres de fortes pressions avec un débit moindre.

Dans les conditions que nous avons indiquées, la différence de pression H étant proportionnelle au carré de la vitesse à la circonférence u_2, M. Murgue appelle *rende-*

ment manométrique et M. Rateau *pouvoir manométrique* le rapport $\frac{gH}{u_2^2}$. On conçoit l'avantage pratique que présentent, dans beaucoup de cas, les appareils à fort *rendement* ou *pouvoir* manométrique, qui donnent une dépression considérable sans qu'on leur imprime une très grande vitesse.

Pour juger complètement l'appareil, il faut en outre savoir s'il fonctionne encore convenablement en s'écartant plus ou moins des conditions théoriques de marche, qui comportent un rapport déterminé entre le carré du débit et la dépression.

De même, une turbine est tracée pour tourner à une vitesse donnée sous une hauteur de chute déterminée : il importe que son rendement ne s'abaisse pas trop lorsque cette hauteur change, la vitesse de marche restant la même.

Pour déterminer un ventilateur répondant à des conditions données, nous nous reporterons à la *fig.* 12 et à l'équation

$$2gH = v_2^2 + u_2^2 - w_2^2 - (v_1^2 + u_1^2 - w_1^2) \quad \text{ou} \quad gH = u_2 v_2 - u_1 v_1.$$

La figure se prête à une solution graphique commode, qui a été donnée par M. G. Hermann pour les turbines. w_2 se déduit de w_1 par l'équation de continuité : ces vitesses sont dans le rapport inverse des sections normales de passage; u_1 et u_2 sont dans le rapport des rayons de la couronne à l'entrée et à la sortie. $2gH$ étant une somme algébrique de carrés de vitesses, une série de triangles rectangles, dont les côtés sont ces vitesses, permettent de construire une longueur dont le carré sera la somme donnée, c'est-à-dire de $2gH$: cette longueur représentera donc $\sqrt{2gH}$. Nous donnons cette construction *fig.* 13, dans le cas simple où $u_1^2 = w_1^2 - u_1^2$, et où

les sections normales de passage dans la couronne ne varient pas.

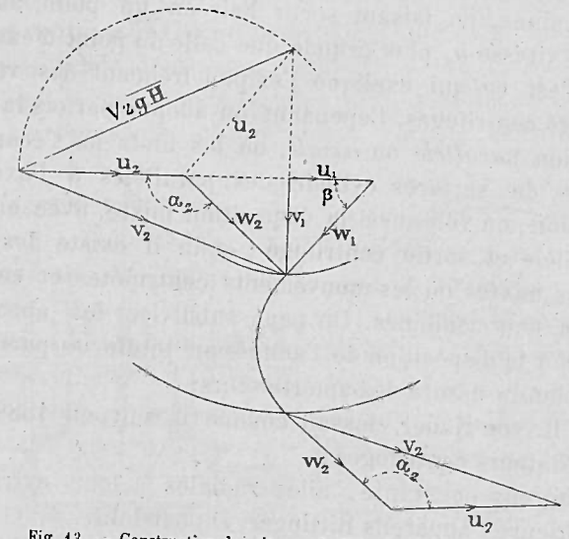


Fig. 13. — Construction des vitesses de l'air dans un ventilateur.

Ce tracé nous laisse beaucoup d'arbitraire : on en profite pour donner aux vitesses absolues v_1 et v_2 des directions facilement réalisables, puis on réduit autant que possible les valeurs de w_1 et de w_2, afin que les frottements à travers la couronne ne soient pas trop forts; enfin il convient que la vitesse de la couronne, u_2, ne soit pas trop grande.

La Commission prussienne qui a étudié les ventilateurs indique 10 mètres comme limite supérieure de la vitesse relative w.

La relation $gH = a_2 v_2 - a_1 v_1$ nous montre que, pour réaliser une dépression donnée H avec des vitesses modérées, ni v_2 ni a_2 ne doivent être trop petits, car u_2 ou v_2 devrait alors être trop grand; v_2 n'étant pas très petit, l'amortisseur devient nécessaire.

L'examen des tracés graphiques et de la formule

montre qu'on réalise plus convenablement une valeur donnée de g H, c'est-à-dire une différence de pressions déterminée, en faisant sortir l'air en un point animé d'une vitesse u_2 plus grande que celle du point d'entrée, u_1. C'est ce qui explique l'emploi fréquent des ventilateurs centrifuges. Cependant on adopte parfois la disposition *parallèle* ou *axiale*, où les filets ne s'écartent guère de surfaces cylindriques parallèles à l'axe de rotation ; on voit aussi la disposition mixte, avec entrée parallèle et sortie centrifuge ; enfin il existe des systèmes mixtes où les mouvements centripètes et centrifuges sont combinés. On peut subdiviser les appareils suivant la disposition de l'admission totale ou partielle, et selon la nature des amortisseurs.

J. R. von Hauer classait comme il suit, en 1889, les ventilateurs centrifuges ;

Largeur constante, ailes radiales à leur extrémité extérieure : appareils Rittinger, Dinnendahl.

Aubages rétrécis vers l'extérieur : Geisler, Wagner, Schiele, Waddle, Stevenson, Brunton, Colson.

Disposition pour éviter les tourbillons en arrière des ailes : Lambert, Aland.

Directrices fixes à la sortie : Harzé, Gendebien.

Sortie intermittente de l'air : Guibal, Beer.

Enveloppe en volute : Kley.

Entrée de l'air sur les ailes parallèlement à l'axe de rotation : Pelzer, Moritz, Chagot, Duvergier.

Directrices fixes à l'entrée : Kraft.

Ailes courbées en avant : Ser, Winter, Gonther, Farcot.

Ailes recourbées en arrière : Combes, Gallez, Tournaire, Letoret, Leverkus.

Sortie de l'air parallèlement à l'axe : Audemar, Schwartzkopff.

Ailes à courbure interrompue : Capell, Dieu.

Nous citerons quelques appareils parmi les types si nombreux :

Le ventilateur *Guibal* ne convient que pour les mines où une faible dépression suffit : il a été maintes fois appliqué à des mines étroites avec peu de succès. La *fig.* 14 représente le ventilateur Farcot, centrifuge et

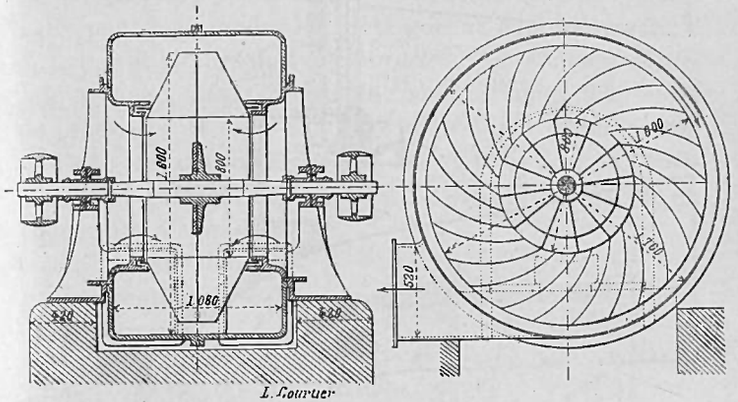


Fig. 14. — Ventilateur Farcot.

débitant sur toute sa périphérie dans un canal formant amortisseur. Le type Farcot de la *fig.* 14 est un appareil soufflant pour moyennes pressions : une aube sur deux est prolongée jusqu'à l'axe. Le constructeur annonce que ce prolongement des aubes améliore le fonctionnement de l'appareil ; mais il en résulte certainement des chocs ou des déviations brusques des filets gazeux à l'entrée dans l'ouïe et au passage des ailes droites aux ailes courbes.

Dans le ventilateur Pelzer, l'air entre parallèlement à l'axe, guidé par des directrices fixes ; la sortie est centrifuge ; le diffuseur ou amortisseur, qui entoure la couronne tournante, a une section variable, suivant l'ajustement d'une de ses parois.

Le ventilateur Rateau (*fig.* 15 et 16) est également du

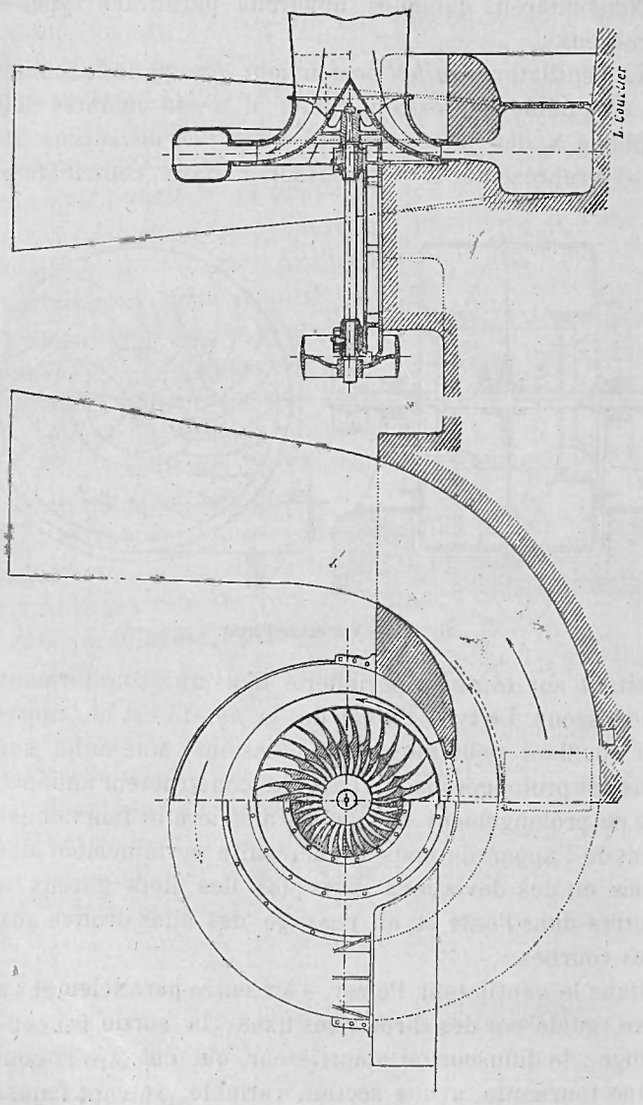


Fig. 15 et 16. — Ventilateur Rateau.

type mixte, à entrée parallèle et sortie centrifuge; il est muni d'un amortisseur compound, obtenu par la combi-

naison de deux parois légèrement coniques et d'une enveloppe en spirale à section croissante. La disposition mixte paraît en principe la meilleure, puisque l'air arrive par les ouïes parallèlement à l'axe de l'appareil : avec la disposition purement centrifuge, il faut que le rapport des diamètres intérieur et extérieur de la couronne mobile ne soit pas trop petit, si l'on veut avoir la place nécessaire pour bien guider les filets gazeux avant l'entrée.

Les ventilateurs du type *parallèle*, dit souvent ventilateurs hélicoïdes, conviennent pour de faibles différences de pression ; ils ont l'avantage d'être peu encombrants et d'une installation facile ; on les emploie pour la ventilation des édifices, des navires. La *fig.* 17 représente en coupe par l'axe et en coupe par un plan tangent le ventilateur hélicoïde Rateau. La couronne mobile est formée de 24 à 36 ailes en tôle d'acier fixées à la jante d'une roue A légèrement conique, en fonte (ou en tôle). Ces ailes, ainsi que celles du distributeur *m*, sont des cylindres avec génératrices normales à l'axe de la couronne : la section est un arc de cercle. Le diffuseur D est formé par un cylindre et un cône de révolution à axes communs.

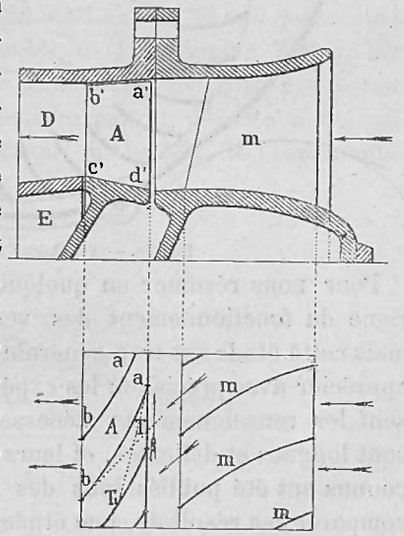


Fig. 17. — Ventilateur Rateau parallèle.

La disposition du ventilateur Mortier (*fig.* 18) est curieuse : l'admission et le débit sont partiels, l'entrée étant centripète et la sortie centrifuge ; c'est ainsi que se meut l'eau dans une roue Poncelet, mais dans la roue

Poncelet le fluide rebrousse le long de l'aube, ce qui cause une perte importante de force vive, tandis qu'il traverse diamétralement la couronne mobile du ventilateur Mortier.

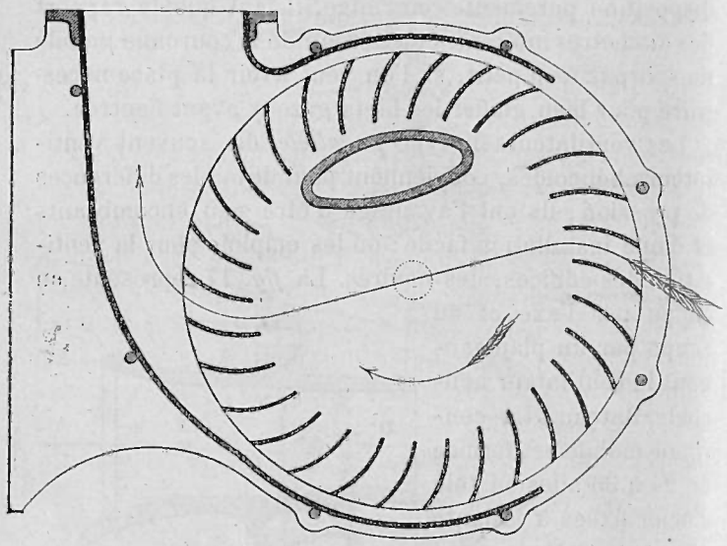


Fig. 18. — Ventilateur Mortier.

Pour nous résumer en quelques mots, l'étude théorique du fonctionnement des ventilateurs est simple, mais cette étude est trop générale pour permettre de les apprécier avec précision; les expériences seules fournissent les renseignements nécessaires. Ces expériences sont longues et délicates, et leurs résultats actuellement connus ont été publiés sous des formes diverses; pour comparer ces résultats, une étude minutieuse en est souvent nécessaire.

Les ventilateurs ont donné lieu à des travaux remarquables : il est à désirer que ces travaux soient bien coordonnés et qu'on fixe clairement et d'une manière uniforme les définitions des coefficients qui caractérisent les appareils.

Les notions fondamentales relatives à une classe d'appareils aussi répandus et aussi importants ne sauraient être trop claires pour tous ceux qui s'en servent : sinon il en résulte souvent des constructions défectueuses et des applications maladroites.

15. Principe des machines a piston. — On établit simplement la théorie des appareils à piston tels que les compresseurs, les machines pneumatiques, les machines soufflantes. Tous ces appareils prennent l'air à une pression p_1, le compriment jusqu'à la pression p_2, puis le refoulent sous cette pression. On démontre que l'*espace libre* laissé par le piston à fond de course n'a qu'une influence secondaire sur le travail consommé pour comprimer et refouler un kilogramme d'air : l'air comprimé à p_2 qui reste dans cet espace, quand le piston est à fond de course, restitue par sa détente le travail absorbé par la compression. Si Oa (*fig.* 19) représente

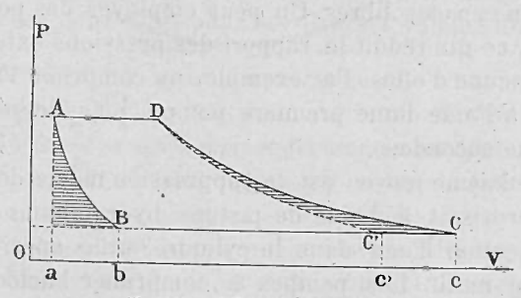


Fig. 19. — Effet de l'espace libre.

le volume de l'espace libre, aA, la pression p_2, l'air se détend d'abord de p_2 à p_1, suivant AB; puis le piston aspire un volume bc d'air à la pression p_1, comprime le volume Oc suivant CD et en refoule la fraction DA; le volume engendré par le piston est ac; sans espace libre, le volume ac moins ab ou ac' suffirait pour donner le même volume d'air comprimé, AD.

La restitution du travail n'est complète que si la détente et la compression suivent la même loi ; le plus souvent, pendant la compression, il se dissipe au dehors de la chaleur, qui ne se retrouve plus pendant la détente. En outre, le poids d'air refoulé par coup de piston est réduit du fait de l'espace libre : pour un même effet utile, la machine est plus grande et consomme plus de travail en frottements.

Quand le rapport $\frac{p_2}{p_1}$ des pressions ne s'éloigne pas beaucoup de l'unité, cette influence des espaces libres est peu sensible ; elle devient considérable et paralyse même la machine quand la valeur du rapport $\frac{p_2}{p_1}$ est grande, soit qu'on veuille comprimer l'air à une pression très élevée, soit au contraire qu'on veuille abaisser beaucoup p_1, avec une machine pneumatique.

Trois moyens permettent de remédier à cet inconvénient des espaces libres. On peut employer des pompes étagées, ce qui réduit le rapport des pressions extrêmes pour chacune d'elles. Par exemple, on comprime l'air de p_1 à p'_2 à l'aide d'une première pompe, puis de p'_2 à p_2 dans une seconde.

Un deuxième moyen est la suppression même de l'espace libre, soit à l'aide de pistons hydrauliques, soit par l'injection d'eau dans le cylindre, utile aussi pour un autre motif. Les pompes à comprimer l'acide carbonique, dans la machine frigorifique Raydt, sont un exemple d'appareil à peu près absolument dépourvu d'espace libre, le piston à bout de course touchant le fond du cylindre.

Une troisième méthode consiste à vider l'espace libre vers la fin de la course, en faisant communiquer à ce moment les deux côtés du piston. La communication étant ensuite supprimée, le piston aspire d'un côté et refoule

de l'autre un poids d'air plus fort ; le travail de la compression dans l'espace libre n'est plus restitué.

Le travail strictement nécessaire pour la compression de l'air varie suivant la loi de cette compression : les deux valeurs extrêmes correspondent aux modes isotherme et adiabatique. Soit Oa (*fig.* 20) le volume du kilogramme d'air ; ces deux modes sont représentés par l'hyperbole équilatère AB et par la courbe AB′ dont l'équation est $pv^{1,4} = \text{const.}$: le travail est figuré par les aires ABCD et AB′CD. La différence de ces deux aires augmente avec le rapport de la pression finale à la pression initiale.

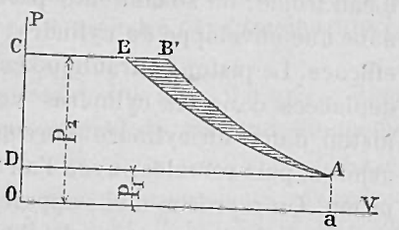


Fig. 20. — Compressions isotherme et adiabatique.

La formule rappelée au paragraphe 3 nous donne le rapport des deux aires pour les diverses valeurs du degré de compression $\frac{p_2}{p_1}$.

Pour $\frac{p_2}{p_1} = 1{,}2$	le rapport des travaux est		1,02
— 2	—	—	1,11
— 5	—	—	1,29
— 10	—	—	1,43
— 15	—	—	1,51

La compression adiabatique donne, il est vrai, un volume d'air CB′ plus grand que la compression isotherme ; mais ce volume CB′ est à une température t_2 plus élevée que la température ambiante t_1 : il se refroidit rapidement dans le réservoir où il est refoulé et redevient CB. Cette diminution de température produit seulement une réduction de volume et non un abaissement de pression, dans l'état de régime : il sort du réservoir un

volume inférieur à celui qui y pénètre pendant le même temps.

Pour que le travail consommé par un compresseur ne soit pas trop grand, il faut que la compression se rapproche autant que possible du mode isotherme : on refroidit à cet effet le gaz, pendant la compression, au moyen d'eau froide : on se contente parfois de la faire circuler dans une enveloppe du cylindre ; c'est le moyen le moins efficace. Le piston hydraulique consiste en colonnes d'eau déplacées dans des cylindres verticaux, par le jeu d'un piston dans un cylindre horizontal. Un peu d'eau est aspirée, puis refoulée, avec l'air. L'espace libre est supprimé. On reproche à ces appareils la lenteur inévitable de leur action, sous peine de chocs violents, et un refroidissement incomplet, ne se faisant guère que par les parois humides du cylindre.

On peut enfin injecter l'eau en la pulvérisant dans la masse gazeuse. C'est seulement pendant la compression que l'injection est utile ; une basse température de l'air dans le tuyau de refoulement ne prouve pas que le refroidissement ait lieu précisément à l'instant voulu. En injectant l'eau au moyen d'une pompe spéciale, on peut en régler l'envoi dans le cylindre compresseur. Les *pulvérisateurs* doivent être simples et d'un entretien facile ; sinon ils restent en partie bouchés. Il convient d'ailleurs de filtrer l'eau au préalable, si elle n'est pas très pure.

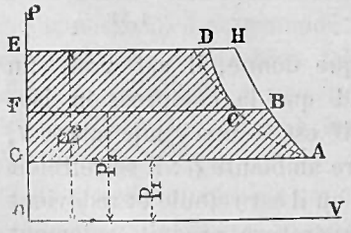


Fig. 21. — Compressions successives.

La compression successive dans deux ou plusieurs cylindres, que nous avons déjà indiquée en étudiant l'action des espaces libres, permet de laisser refroidir l'air dans les réservoirs intermédiaires. En nous limitant

à deux cylindres, le premier, pour comprimer un kilogramme d'air de p_1 à p'_2, consomme le travail ABFG (*fig.* 21) et donne le volume FB, que le refroidissement réduit à FC ; le second cylindre reprend ce volume FC, et dépense à son tour le travail CDEF. On voit qu'on économise le travail BCDH sur une compression adiabatique dans un seul cylindre.

On déduit des formules de la compression adiabatique la valeur de p'_2 qui donne la moindre dépense de travail : c'est la valeur $p'_2 = \sqrt{p_1 p_2}$.

L'élévation de température est alors la même dans chacun des deux compresseurs, en partant du même degré initial.

La compression successive dans plusieurs cylindres paraît utile surtout quand on veut atteindre une pression fort élevée. Cependant elle a été adoptée quelquefois pour des pressions ne dépassant pas 6 à 8 kilogrammes par centimètre carré, notamment dans la grande installation faite à Paris. On justifie cette application surtout par l'opportunité du partage du travail moteur entre plusieurs cylindres.

Le passage de l'air par les orifices d'aspiration, puis de refoulement, exige dans le cylindre une pression inférieure à p_1 pendant l'aspiration et supérieure à p_2 pendant le refoulement, d'où résulte une double augmentation du travail consommé. Les différences de pression sont à peu près en raison directe du carré de la vitesse de l'air au travers des orifices. L'influence proportionnelle de ces différences sur le travail moteur est d'autant plus grande que le rapport de p_2 à p_1 se rapproche davantage de l'unité : il faut donc grandir la section de passage et réduire les vitesses des pistons surtout dans les soufflleries, qui compriment l'air faiblement.

Une autre cause vient encore augmenter la surpression nécessaire pour le refoulement : c'est l'inertie de la masse

qui remplit le tuyau de refoulement entre le cylindre et le réservoir d'air comprimé. Cet effet devient notable quand ce tuyau est long : M. Burdy en cite un exemple (mémoire cité § 2). Pour se faire une idée de cette action, il suffit de remarquer que l'air, à 8 atmosphères, remplissant un tuyau long de 20 mètres avec un diamètre de $0^m,3$, pèse environ 14 kilogrammes : un travail de 160 kilogrammètres est nécessaire pour imprimer à cette masse une vitesse de 15 mètres par seconde.

Comment doit-on évaluer le travail utile d'un compresseur? M. Burdy, dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale* (1893, p. 420), fait justement remarquer que le rapport entre le volume d'air à la pression initiale p_1 effectivement aspiré par le piston et le volume engendré par ce piston pendant une course, est influencé par plusieurs causes et notamment par l'action de l'espace libre et par la température à l'intérieur du cylindre : il ne caractérise donc pas un appareil. Il en est de même du rapport des travaux relevés à l'indicateur sur le piston moteur et sur le piston compresseur. M. Burdy propose de caractériser une installation par le poids de vapeur ou même de charbon dépensé pour produire 1 kilogramme d'air comprimé, après son retour à la température ambiante. Il conviendrait de compléter ce renseignement en séparant, autant que possible, le moteur et le compresseur, et en faisant connaître le travail effectif que doit fournir le moteur pour donner ce kilogramme d'air. Comme une grande précision est nécessaire quand on veut fixer un mode de mesure, on pourrait convenir que la température ambiante choisie comme normale est celle de 15°; et que les pressions sont celles de l'air saturé d'humidité. Suivant les cas on apprécierait si une correction des résultats relevés est nécessaire ou non pour les ramener à ces conditions choisies comme normales.

16. VENTILATEURS ROTATIFS. — D'après leur mode

d'action sur le fluide, les ventilateurs rotatifs sont équivalents à des machines à piston. Le remplacement du piston ordinaire, à mouvement alternatif, par un mécanisme relié à l'arbre tournant sans intermédiaire, est un des problèmes qui ont le plus exercé les inventeurs : des dispositions analogues s'appliquent aux machines à vapeur, aux moteurs à air comprimé, aux pompes et aux ventilateurs : c'est pour les pompes et surtout pour les ventilateurs qu'on paraît avoir appliqué le mieux ces dispositions; ce succès tient à la faible différence des pressions mises en jeu dans ces appareils, où il est difficile d'éviter les fuites.

La classification de Reuleaux distingue deux grandes classes de ces machines : celles où les capacités variables sont formées par la rotation, dans un vaisseau fixe, de deux pièces toujours tangentes, et quelquefois de trois axes au lieu de deux; et celles qui comportent des organes assimilables à des manivelles.

Dans le ventilateur très répandu de *Root*, dont la *fig.* 22 représente un type, les deux arbres tournent en sens contraire avec la même vitesse; les deux pièces tangentes, dont les profils sont assez variés, sont identiques, mais différemment orientées sur leurs axes. Ces deux pièces ne sont

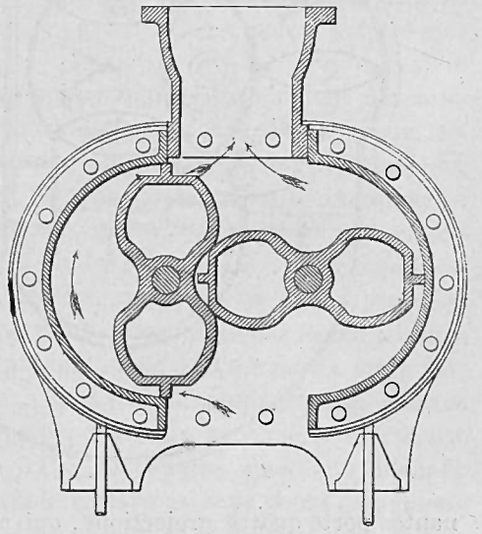


Fig. 22. — Ventilateur de Root.

pas pareilles dans les ventilateurs Evrard et Enke; elles tournent en sens contraires avec la même vitesse dans le premier; dans le second appareil, une des pièces tour-

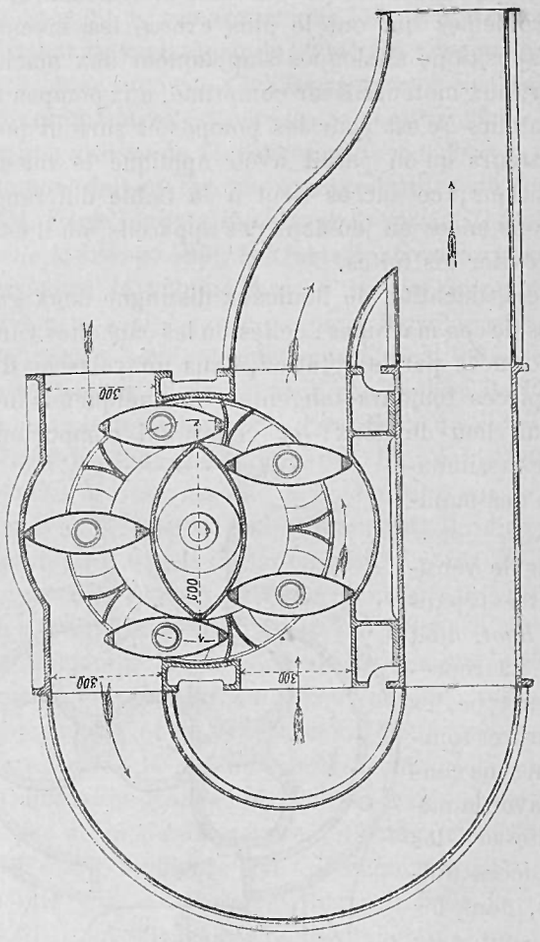


Fig. 23. — Ventilateur rotatif Mortier.

nantes porte quatre projections, qui pénètrent successivement dans trois cavités de la seconde pièce. Le ventilateur Baker a trois pièces tournantes; dans celui de

Krigar, les deux pièces tangentes ne sont pas cylindriques, mais hélicoïdales. Citons encore l'appareil de Hoppe et celui de Fabry, construits avec de grandes dimensions, pour la ventilation des mines.

Les appareils dérivés de la manivelle, présentant une série d'articulations, sont en général plus compliqués que les précédents. Un premier genre comprend une pièce tournant dans l'intérieur d'un cylindre creux, percé d'ouvertures pour l'aspiration et le refoulement; cette pièce entraîne des plaques qui séparent des capacités variables. D'autres fois, les cloisons mobiles sont articulées à leurs deux extrémités, comme dans le ventilateur bien connu de Lemielle.

Dans le ventilateur rotatif *Mortier* (*fig.* 23), six pistons de forme lenticulaire tournent autour d'un centre en restant toujours orientés de même; ils aspirent l'air en deux points et le refoulent en deux autres points de leur circuit.

17. Machines soufflantes. — On emploie des machines soufflantes pour les hauts fourneaux et pour les convertisseurs Bessemer; mais l'écart des pressions et les quantités d'air nécessaires pour ces deux applications différencient beaucoup les appareils.

On envoie dans les hauts fourneaux 5 à 6 kilogrammes d'air par kilogramme de fonte produite, à une pression d'environ 20 centimètres de mercure au-dessus de l'atmosphère. Pour une production de 100 tonnes de fonte par vingt-quatre heures, la machine soufflante doit fournir environ 6 kilogrammes d'air par seconde, ou prendre dans l'atmosphère $5^{m^3},5$. Il convient que l'air, modérément comprimé, circule lentement, sous peine d'augmenter énormément le travail moteur nécessaire : on arrive ainsi à d'immenses cylindres soufflants, dont le diamètre atteint 3 mètres, avec un petit nombre de coups de piston

par minute, nombre qui ne dépasse guère 30 et souvent se tient en dessous.

On a depuis longtemps renoncé aux machines soufflantes à commande directe par le piston à vapeur, sans mouvement de rotation pour limiter les courses. Les machines actuelles sont verticales à balancier, verticales tandem ou horizontales.

Dans les appareils de la première catégorie, le cylindre à vapeur et le cylindre soufflant sont reliés aux deux bouts du balancier; la bielle qui commande la manivelle de l'arbre de volant s'articule entre l'extrémité motrice et l'axe d'articulation du balancier, et, plus fréquemment, sur un prolongement du balancier au delà de l'extrémité motrice. Cette forme se prête facilement à l'emploi de deux cylindres moteurs, au lieu d'un seul, avec détente de Woolf.

La disposition verticale en tandem est réalisée sous des formes plus variées. Le cylindre moteur peut être en dessous du cylindre soufflant, qui forme la partie supérieure de la machine : une traverse, montée sur la tige commune des deux pistons, porte deux bielles pendantes, qui commandent l'arbre. Cet arbre, passant sous le cylindre moteur, est muni d'un volant à chaque extrémité. Au lieu d'un cylindre moteur, on peut en employer deux accolés avec détente de Woolf : la société Cockerill exposait en 1889 le 152e exemplaire de ce type, avec les dimensions suivantes : diamètres des deux cylindres à vapeur et du cylindre soufflant, $0^m,850 — 1^m,200 — 3^m$; course commune, $2^m,440$; poids des volants, 18 tonnes; vitesse ordinaire de marche, 15 tours par minute.

Le volant d'une machine verticale américaine, employée par la *Pennsylvania Steel C°*, est commandé par un balancier, articulé sur la tige commune, entre les deux cylindres.

D'autres fois on intervertit la position des cylindres, en

plaçant à la partie supérieure le cylindre moteur, qui est le moins lourd; mais cette disposition ne se prête guère à l'usage de deux cylindres moteurs avec détente de Woolf.

On a enfin adopté la disposition pilon, avec bielle en dessous des cylindres placés en tandem, le cylindre moteur étant en dessous ou en dessus du cylindre soufflant. Deux groupes attaquant le même arbre permettent l'emploi de cylindres moteurs compound. On a même construit des machines soufflantes à trois groupes semblables de cylindres sur un arbre unique.

Les machines horizontales ont ordinairement deux cylindres attaquant l'arbre du volant par deux manivelles calées à angle droit. La tige de chaque piston moteur est prolongée de manière à commander en tandem un cylindre soufflant. Le *fig.* 24 représente une machine de ce genre, construite par le Creusot pour les hauts fourneaux de Bessèges. Les moteurs de ce genre peuvent être compound; dans l'exemple que nous donnons, la faible pression de vapeur dont on disposait et la nécessité de pouvoir marcher aisément avec une seule machine excluait l'emploi du système compound. Les données principales de cet appareil sont les suivantes :

Volume d'air aspiré par minute	500^{m3}
Pression de l'air en centimètres de mercure	30
Diamètre des cylindres à vapeur	$0^m,850$
Diamètre des cylindres à vent	$1^m,700$
Course des pistons	$1^m,600$
Nombre de tours par minute	37,5

Pour éviter l'introduction dans les cylindres soufflants de poussières, fort abondantes autour de la chambre des machines, cette chambre est hermétiquement close et mise en communication avec l'air extérieur par une galerie, qui débouche à une certaine distance, en un point où l'air est relativement pur.

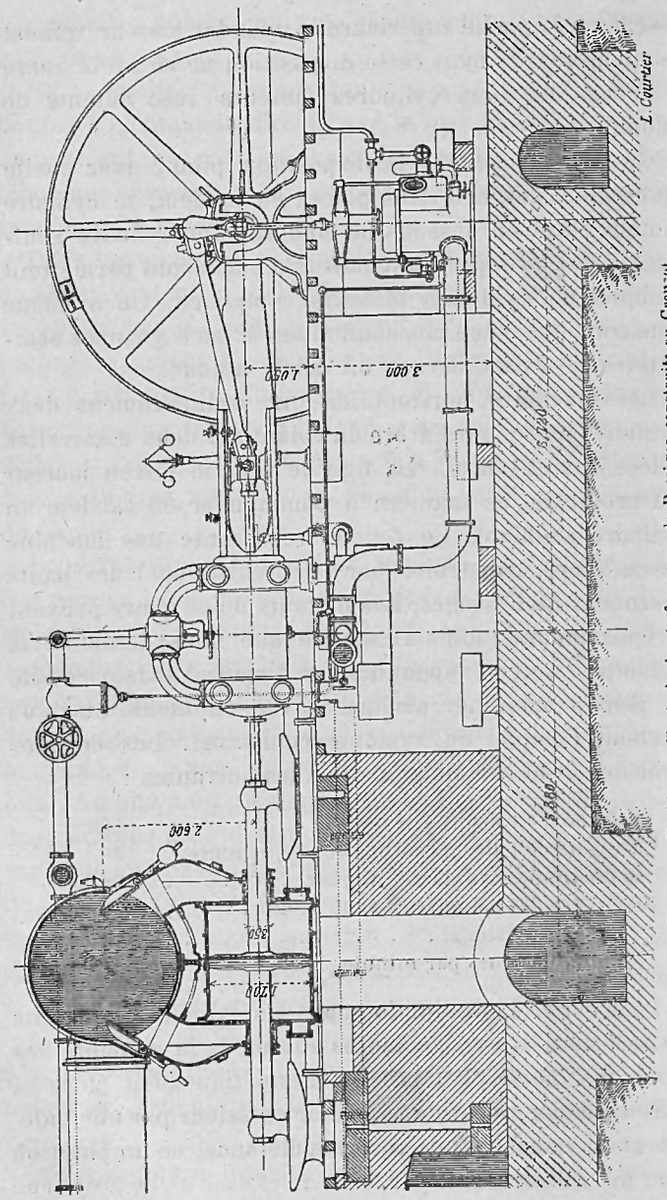


Fig. 24. — Machine soufflante des hauts fourneaux de Bessèges, construite au Creusot.

L'établissement des clapets d'aspiration et de refoulement est l'un des points les plus importants de la construction des cylindres soufflants. Les deux groupes de clapets couvrent souvent toute l'étendue des fonds du cylindre; pour qu'ils offrent une section convenable de passage, il faut que l'étendue de ces fonds soit suffisante, ou, en d'autres termes, que le rapport de la course à la surface du piston ne soit pas trop grand : du reste, vu la faible compression de l'air et le grand volume à fournir, une longue course avec un petit diamètre conduirait à des proportions inacceptables de tout l'appareil. On peut aussi installer des clapets dans une zone annulaire de la surface cylindrique suffisamment prolongée, mais remplie en grande partie par le plateau. Le piston peut même être muni de prolongements qui remplissent en fond de course le vide qui reste entre ce prolongement du cylindre et le plateau. Les clapets peuvent aussi tenir sur les faces planes d'un élargissement du cylindre (*fig.* 26).

La régularisation des machines soufflantes de hauts fourneaux présente certaines difficultés, indiquées par M. Burdy dans son mémoire. Si ces machines, étant du système Corliss, possèdent un régulateur de vitesse agissant sur le déclic, et maintenant une allure à peu près constante, la pression du vent s'élèvera rapidement dès qu'un fourneau sera arrêté; cette irrégularité de pression sera préjudiciable à la bonne marche des fourneaux.

Si, au lieu de régulateurs de vitesse, les machines sont munies de régulateurs de pression agissant également sur le déclic pour augmenter la vitesse en cas d'abaissement de pression, et pour la diminuer en cas d'augmentation, on sera exposé à des accélérations nuisibles de la vitesse des machines.

Pour éviter ces divers inconvénients, un double régulateur de vitesse et de pression a été construit au Creusot (*fig.* 25). Les deux régulateurs, de vitesse et de pression,

agissent simultanément et indépendamment l'un de l'autre, sans gêner leur action réciproque, sur la détente de la vapeur, par l'intermédiaire du même déclic.

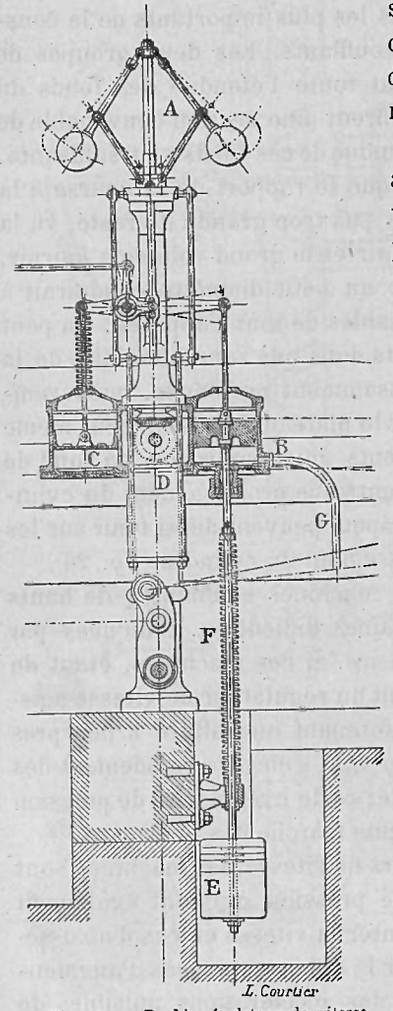


Fig. 25. — Double régulateur de vitesse et de pression.

Les soufflerie pour aciéries Bessemer doivent donner l'air à une pression de 2 à 3 atmosphères, bien plus élevée que les soufflerie de hauts fourneaux; par suite, une vitesse plus grande de l'air dans les passages est admissible, avec une même proportion de travail perdu de ce chef. Aussi règle-t-on ces machines pour une marche plus rapide: elle font souvent de 50 à 70 tours par minute. Il est bon de refroidir l'appareil au moyen d'une circulation d'eau dans une enveloppe du cylindre; l'injection directe n'est pas possible, parce que l'air fourni doit être sec. Les clapets en cuir, en gutta-percha ou matières analogues, ne conviennent plus ; on fait usage de soupapes en bronze, ou de clapets Corliss.

M. Riedler applique les mécanismes de commande à la fermeture des soupapes de machines soufflantes pour

convertisseurs Bessemer : ces soupapes ont une grande course et s'ouvrent automatiquement; un mécanisme vient les refermer, pour l'aspiration et pour le refoulement, exactement en fin de course du piston.

Dans la machine soufflante E. P. Allis pour aciéries Bessemer, exposée à Chicago en 1893, le cylindre à vent est muni de quatre distributeurs du genre Corliss : le mécanisme commande l'ouverture et la fermeture des distributeurs d'aspiration ainsi que la fermeture des distributeurs de refoulement; ces derniers distributeurs sont collés sur leur siège par la pression de l'air comprimé; un ressort pneumatique tend à les ouvrir, mais ne les entraîne que lorsque la pression dans le cylindre atteint celle du refoulement : les tiges qui les relient au mécanisme de commande sont à coulisse pour permettre cette ouverture.

Les machines soufflantes pour aciéries Bessemer sont le plus souvent horizontales, avec cylindres en tandem. Cependant d'autres dispositions sont adoptées : la *fig.* 26 est la coupe transversale, par le grand cylindre, d'une machine compound pilon en tandem, à deux manivelles, construite par le Creusot pour une aciérie Bessemer. Les données principales de cette machine sont les suivantes :

Volume d'air aspiré par minute	400^{m3}
Pression effective de l'air refoulé	2^{kg}
Diamètre des cylindres à vent	$1^{m},400$
Diamètre du petit cylindre à vapeur.	$1^{m},200$
Diamètre du grand cylindre à vapeur.	$1^{m},700$
Course des pistons	$1^{m},400$
Nombre de tours par minute (normal)	50
Pression initiale de la vapeur sur le petit piston.	$5^{kg},500$

18. Compresseurs. — Nous avons indiqué, en étudiant la théorie des machines à piston (§ 15), les principales dispositions adoptées pour combattre l'échauffement de l'air pendant la compression, et l'action des espaces libres

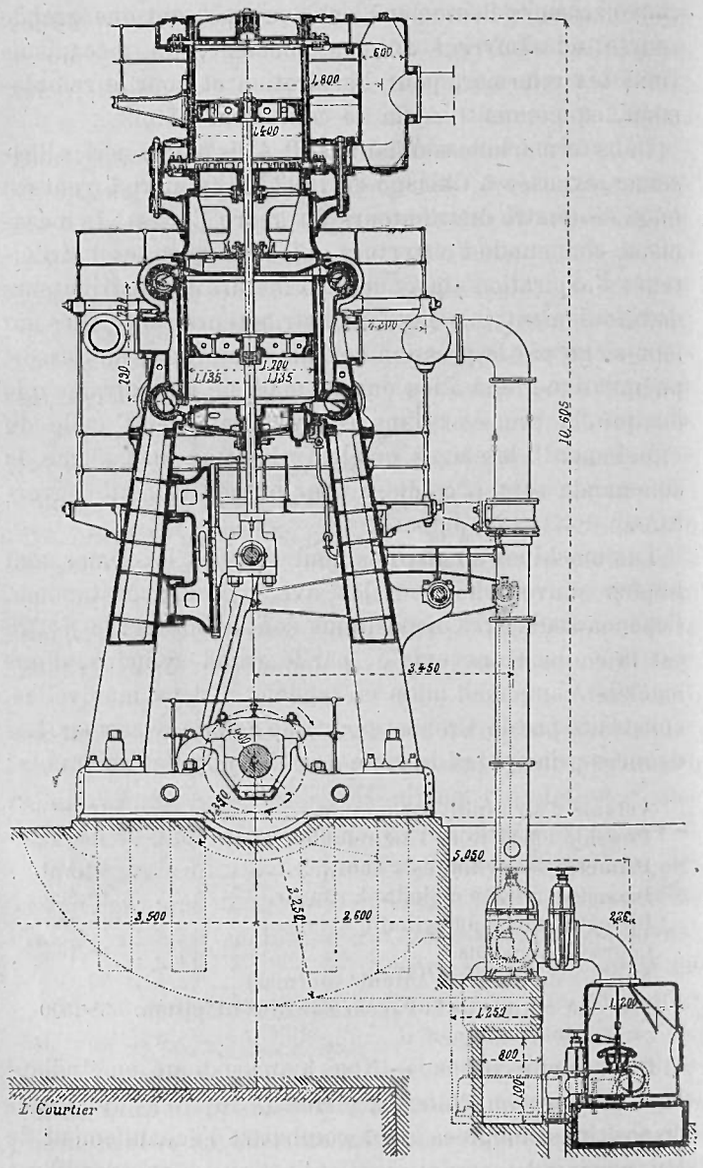


Fig. 26. — Machine soufflante du Creusot, pour aciérie Bessemer.

des cylindres : nous classons les compresseurs d'après ces dispositions. Les autres particularités les plus importantes de ces machines ont trait à l'installation des soupapes.

Parmi les compresseurs à piston hydraulique, nous rappellerons celui de Sommeiller, dont la lenteur de marche est le principal défaut. On peut augmenter un peu la vitesse en évasant les capacités verticales où jouent les colonnes d'eau, comme dans les compresseurs Haurez, Humboldt, Hanarte. Pour refroidir plus complètement l'air pendant sa compression, M. Rossigneux recommande d'installer des serpentins à circulation d'eau dans les chambres où jouent les pistons hydrauliques.

Les types de compresseurs à injection sont nombreux : nous avons indiqué, au paragraphe 15, les conditions nécessaires pour qu'elle soit bien efficace. L'eau injectée s'accumule dans les espaces libres, puis est refoulée en même temps que l'air. Avec certaines dispositions de cylindres, la masse d'eau ainsi refoulée par le piston peut être assez grande pour donner lieu à des chocs importants.

Les compresseurs à sec sont habituellement rafraîchis par une circulation d'eau dans une enveloppe du cylindre : cette circulation conserve les surfaces frottantes plus qu'elle ne refroidit l'air. On en fait usage lorsque les gaz comprimés ne doivent pas être humides, ou pour simplifier l'appareil. Pour la même raison, on supprime aussi l'enveloppe à circulation, comme dans le *petit cheval* des freins à air comprimé.

Dans le type Burckhardt-Weiss, la distribution se fait par un tiroir recouvert de clapets, qui servent pour le refoulement : le tiroir règle seulement l'aspiration, qui se fait par sa cavité centrale. On sait qu'un tiroir ordinaire unique, conduit par un excentrique, ne peut assurer l'ouverture et la fermeture, aux moments convenables,

des orifices d'aspiration et de refoulement. Le tiroir est en outre muni d'un canal, qui fait communiquer en fin de course les deux côtés du cylindre, pour vider les espaces libres. Une enveloppe à circulation d'eau entoure le cylindre.

Le compresseur Wegelin et Hubner est, en principe, analogue au précédent, mais c'est un tiroir spécial qui effectue la vidange des espaces libres.

Comme exemples de compresseur à cylindres étagés, nous citerons ceux de Brotherhood et d'Elwell, qui donnent l'air à une pression fort élevée.

La compression étagée a été employée de même, pour une pression finale ne dépassant pas 8 atmosphères, dans la grande installation faite récemment à Paris par la Compagnie de l'air comprimé. Les compresseurs ont leurs soupapes commandées d'après le système de M. A. Riedler. Chaque compresseur est actionné par une machine pilon à triple expansion de 2.000 chevaux; les trois cylindres à vent sont montés en tandem au-dessus des trois cylindres moteurs. La course de tous les pistons est de $1^m,400$. L'air est aspiré au dehors par deux cylindres, du diamètre de $1^m,100$; la compression s'achève dans le troisième cylindre, dont le diamètre est de $0^m,780$. Le nombre de tours peut atteindre 72 par minute.

Dans son mémoire cité au paragraphe 2, M. Burdy signale plusieurs détails intéressants des compresseurs construits au Creusot. La circulation d'eau dans une enveloppe autour du cylindre a été conservée, malgré l'emploi de l'injection, pour éviter tout échauffement des parois; la chemise intérieure du cylindre est en fonte dure et les segments du piston sont en bronze phosphoreux : on obtient ainsi un bon frottement, malgré la présence de l'eau et les dépôts qu'elle donne quelquefois. Les clapets en cuir, en caoutchouc ou en matières équivalentes ne durent pas longtemps : les soupapes sont préférables,

à condition d'avoir une faible levée. Les petites soupapes Corliss, formées d'un disque mince en métal, au diamètre de 60 à 80 millimètres, pressé par un ressort léger, fonctionnent bien; un compresseur, aspirant 85 mètres cubes par minute, est muni de 328 rondelles de ce genre. Une machine soufflante en comporte 780.

Dans un compresseur essayé aux mines de Blanzy, le volume d'air aspiré était les 92/100 du volume engendré par le piston, et le travail indiqué dans le cylindre soufflant était les 84/100 du travail moteur indiqué.

19. Moteurs a air comprimé. — L'air comprimé commande tantôt des moteurs d'atelier, transmettant la puissance à un arbre, tantôt des locomotives qui emportent l'air emmagasiné dans un réservoir, tantôt des appareils spéciaux, tels que perforatrices, freins de chemins de fer. Pour ces appareils spéciaux, on recherche surtout la commodité, plus que l'utilisation complète de la force motrice disponible.

Les dispositions des moteurs du premier genre sont analogues à celles des machines à vapeur, à piston ordinaire ou rotatives; les machines rotatives ne servent guère que pour les faibles puissances.

La particularité la plus intéressante du fonctionnement de ces machines a trait à l'emploi de la détente de l'air. En général, l'air du cylindre reçoit peu de chaleur, de sorte que cette détente est presque adiabatique et le refroidit beaucoup : si elle est poussée aussi loin que possible, c'est-à-dire jusqu'à une pression p_2 égale à celle de l'atmosphère, la température absolue t_2 est, en fonction de la pression p_1 et de la température t_1 au début : $t_2 = t_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0,29}$. Avec $p_1 = 6$ atmosphères et $t_1 = 300$, on trouve $t_2 = 179$. L'air passerait ainsi de la température centigrade $+27°$ à $-94°$.

L'air fourni aux machines est presque toujours humide : ce refroidissement condense et même congèle la vapeur d'eau : la glace se dépose à l'intérieur de la machine et en gêne beaucoup le fonctionnement. Il est vrai que la chaleur abandonnée par l'eau se communique à l'air, qui se refroidit moins; mais il suffit que la température descende au-dessous de zéro centigrade pour que la glace se forme. Le refroidissement durcit aussi les huiles et rend le graissage défectueux. M. Mallard a étudié avec grands détails la détente de l'air humide, dans son travail sur les machines à air comprimé.

Pour éviter ces inconvénients, on règle beaucoup de moteurs à air comprimé sans détente ou avec faible détente. Au moment où l'air à forte pression s'échappe dans l'atmosphère, il se produit encore un refroidissement intense dans le jet gazeux; mais ce refroidissement n'est plus aussi gênant, parce que le courant entraîne les particules de glace qui peuvent se former. Il convient que le moteur ait de grandes lumières, un conduit d'échappement direct et soit graissé avec de l'huile minérale ou de la glycérine. Si l'on ne faisait aucune détente dans le cylindre, l'air revenu au repos à l'extérieur de la machine reprendrait sa température initiale.

Si la compression et la détente de l'air étaient isothermes (*fig.* 27) on retrouverait, abstraction faite des autres causes de pertes, un travail ABCD égal à celui de la compression. Avec une compression et une détente adiabatiques, on consomme le travail CB′AD et le moteur rend ABC′D. On ne retrouve que le travail AB*b*D, s'il fonctionne sans détente. Les formules simples du travail des gaz permettent de calculer, dans chaque cas, ces valeurs du travail.

Un moyen fort ingénieux d'éviter les inconvénients de la détente et d'augmenter la puissance du moteur

consiste à chauffer l'air avant son emploi. Reprenons le diagramme de compression adiabatique CB′AD ; dans le réservoir où il est comprimé, l'air se refroidit, si bien

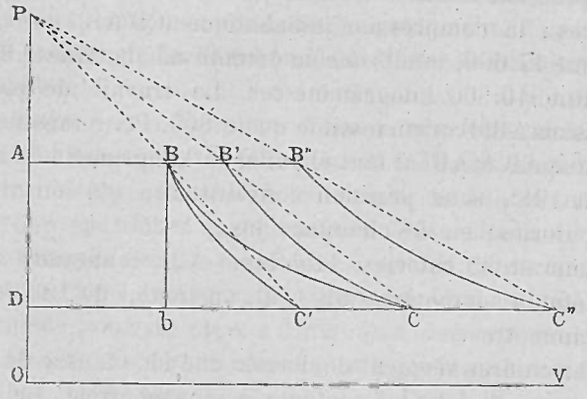


Fig. 27. — Compression et détente de l'air.

que son volume passe de AB′ à AB sous pression constante. Au moment de l'utiliser, rendons-lui les calories qu'il a ainsi perdues : nous ramènerons le volume de AB à AB′ sans que la pression varie, et la détente adiabatique nous restituera le travail initial, AB′CD. Nous pourrons même chauffer l'air davantage, et le dilater jusqu'à AB″ : nous obtiendrons alors un travail AB″C″D, supérieur à celui de la compression.

Le nombre des calories qu'on fournit ainsi à l'air comprimé, pour augmenter beaucoup la puissance obtenue, n'est pas considérable ; c'est ce qui rend assez facile ce chauffage préalable, qui est une des transformations de chaleur en travail les plus avantageuses que nous puissions réaliser : en voyant ce taux d'échange particulièrement élevé, il ne faut pas oublier qu'il ne correspond qu'à une des phases d'une transformation plus compliquée, dont l'ensemble exige le compresseur et le moteur.

Quelques chiffres fixeront les idées à ce sujet. Pour amener à 5 atmosphères un kilogramme d'air sec, pris à la pression atmosphérique, à la température de 17°, la compression isotherme (CBAD) exige 13.650 kilogrammètres ; la compression adiabatique (CB'AD) en consomme 17.600, tandis que la détente adiabatique ABC'D restitue 10.900 kilogrammètres. Le travail de pleine pression AB'D n'en restitue que 6.800. Pour ramener le volume AB à AB″ il faut chauffer le kilogramme d'air de 19° à 191°, sous pression constante, ce qui consomme 44 calories ; en le chauffant jusqu'à 250°, ce qui consommerait 55 calories, le volume AB″ donnerait, avec la détente adiabatique AB″C″D, un travail de 19.700 kilogrammètres.

Ces chiffres risquent de donner une idée fausse du travail recueilli dans les moteurs à air comprimé. En réalité, si l'on tient compte de toutes les réductions successives du travail fourni par le moteur initial, on trouve un rapport assez faible entre le travail consommé et celui qu'on recueille, même dans des conditions favorables.

Pour le chauffage préalable de l'air, on peut employer des calorifères à chauffe extérieure, ne différant des appareils ordinaires de chauffage que parce qu'ils doivent résister à la pression. Le chauffage peut se faire au gaz ou au pétrole, mais alors il est préférable de brûler le combustible gazeux ou liquide dans l'air même qu'on veut échauffer ; on constitue ainsi un moteur mixte à air comprimé et à gaz ou à pétrole.

On injecte aussi de l'eau chaude dans le cylindre moteur, de même qu'on injecte de l'eau froide dans le cylindre compresseur. L'eau n'est en effet nuisible que si elle est en proportion assez faible pour se congeler.

Enfin la vapeur est plus efficace et souvent plus commode que l'eau chaude : on constitue ainsi des machines

mixtes à air comprimé et à vapeur. Dans les moteurs Mekarski, pour tramways, la vapeur est fournie par une chaudière sans foyer, où l'eau est emmagasinée à une température de 170° environ : l'air comprimé, sortant de réservoirs, traverse cette eau chaude. Un détendeur règle la tension de l'air humide lors de l'admission aux cylindres.

Lorsque l'air et la vapeur d'eau saturée sont ainsi mélangés intimement, la pression du mélange, d'après la loi de Dalton, est égale à la tension de la vapeur à la même température, augmentée de la tension qu'aurait l'air seul. Les expériences de Regnault, qui vérifient cette loi avec une grande approximation, n'ont été exécutées pour la vapeur d'eau qu'à des températures peu élevées. Des expériences à ce sujet jusque vers 200° seraient intéressantes.

Les inconvénients du refroidissement de l'air sont atténués dans les moteurs compound, faciles à monter lorsque la commande des appareils exige deux cylindres, par exemple pour les treuils : l'air se réchauffe dans le réservoir intermédiaire.

Un moteur à air comprimé, travaillant avec détente, est un des organes des machines frigorifiques à air, dont l'autre organe essentiel est le compresseur. Le moteur à air comprimé peut donc remplacer jusqu'à un certain point une machine frigorifique.

Parmi les moteurs dont les dispositions sont commandées surtout par leur application spéciale, les perforatrices ont un piston à mouvement rectiligne non transformé : la commande de la distribution est alors moins commode que lorsqu'on dispose d'un arbre tournant. Beaucoup de machines à vapeur, spécialement pour la commande des pompes, ont des distributions commandées de la sorte par le mouvement rectiligne du piston.

On arrive à une grande simplicité, pour certaines per-

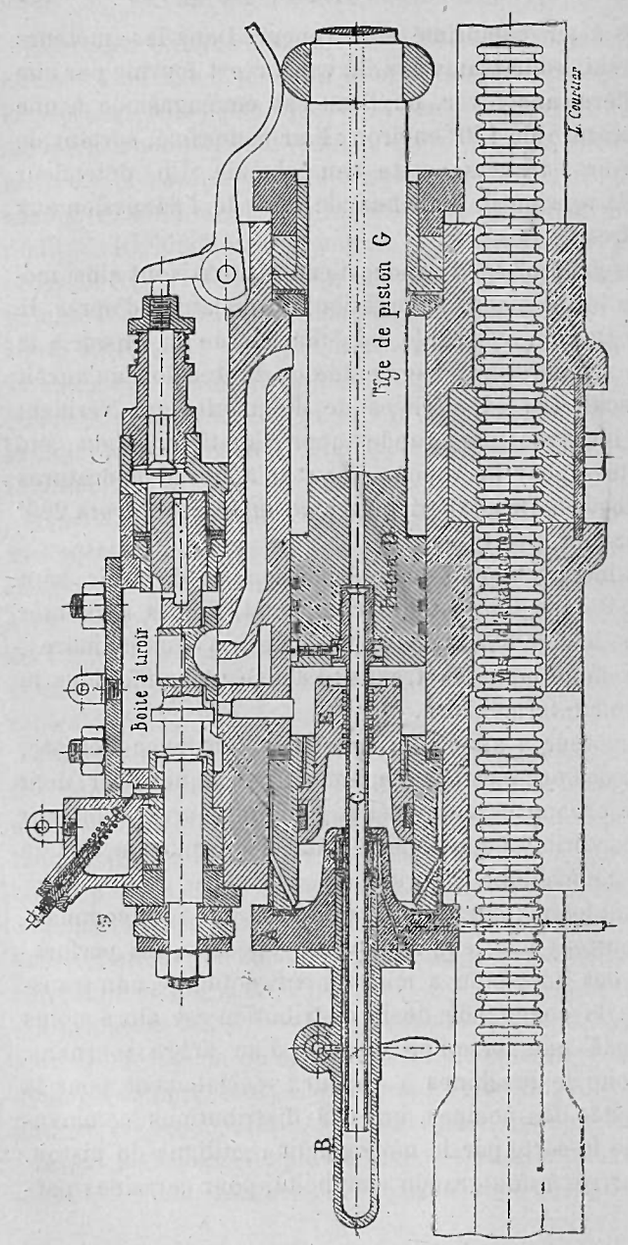


Fig. 28. — Bosseyeuse des mines de Blanzy.

foratrices, en se contentant de faire couvrir ou démasquer par le piston des ouvertures dans la paroi du cylindre : cette disposition donne des périodes égales d'admission anticipée et d'admission d'une part, d'échappement anticipé et d'échappement d'autre part.

Pour le retour du fleuret, la section active du piston est fortement réduite par le grand diamètre de sa tige.

Les *bosseyeuses* sont des perforatrices de grande puissance, dont le fleuret prend toutes les directions exigées pour le creusement d'une galerie. En perçant des séries contiguës de trous, elles découpent dans le rocher des masses qu'on détache à l'aide de coins, sans l'emploi d'explosifs. La *fig.* 28 représente la bosseyeuse en usage aux mines de Blanzy ; un conduit traverse le piston et envoie un courant d'eau au fond du trou, à l'extrémité du fleuret : la *fig.* 29 montre l'emmanchement du fleuret et le passage de l'eau.

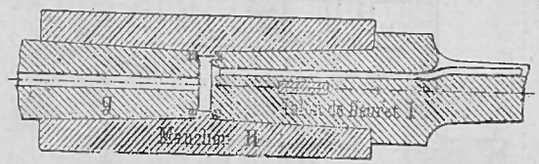


Fig. 29. — Emmanchement du fleuret de la bosseyeuse de Blanzy.

Dans les ateliers, l'air comprimé offre une transmission commode pour la mise en marche de certains appareils, tels qu'outils à mater et à frapper, analogues en principe à de petites perforatrices, vérins, usités aux États-Unis, presses, riveuses ; il peut même actionner des engins très puissants. Le marteau-pilon de 100 tonnes installé à Terni a pour moteur l'air comprimé, fourni par des moteurs hydrauliques ; l'air comprimé est plus commode pour cet usage que la vapeur, parce qu'il ne donne pas de condensations gênantes et dangereuses. J'ai vu en 1873, à Erith près de Woolwich, chez MM. Easton et Anderson, un marteau-pilon ainsi commandé.

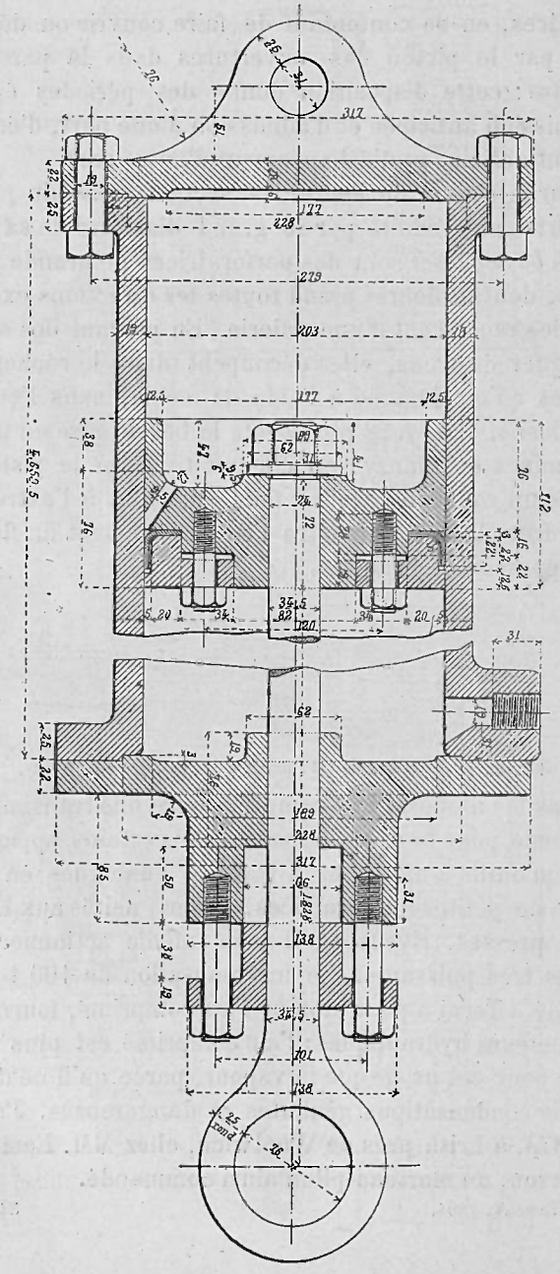


Fig. 30. — Vérin pneumatique.

Les *fig.* 30 et 31, que je dois à l'obligeance de

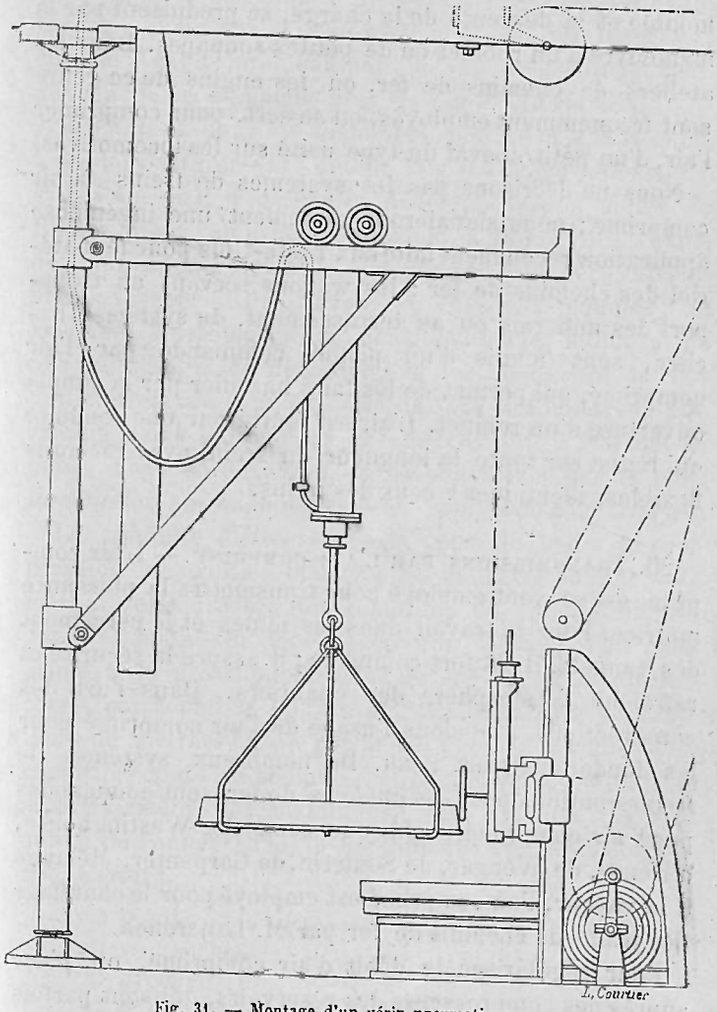


Fig. 31. — Montage d'un vérin pneumatique.

M. P. Arbel, représentent le détail d'un vérin pneumatique installé aux ateliers de Latrobe et le montage de

l'appareil pour desservir un tour vertical à aléser les bandages. L'admission et l'échappement de l'air, pour la montée et la descente de la charge, se produisent par la manœuvre d'un robinet ou de petites soupapes. Dans les ateliers de chemins de fer, où les engins de ce genre sont fréquemment employés, on se sert, pour comprimer l'air, d'un petit cheval du type usité sur les locomotives.

Nous ne décrirons pas les systèmes de freins à air comprimé ; nous signalerons seulement une ingénieuse application récemment faite aux États-Unis pour le matériel des chemins de fer : les wagons servant au transport des minerais ou au terrassement, du système Thacher, sont munis d'un piston commandé par l'air comprimé, qui permet de les faire basculer par la simple ouverture d'un robinet. L'air est fourni par une conduite qui règne sur toute la longueur du train, avec raccords flexibles, identiques à ceux des freins.

20. Transmissions par l'air comprimé. — L'air comprimé est souvent employé pour transmettre la puissance motrice. Pour le travail dans les mines et le percement des tunnels, il est fort commode ; il assure la sécurité et rafraîchit l'atmosphère des chantiers. Dans l'art des constructions, rappelons l'usage de l'air comprimé pour les fondations sous l'eau. De nombreux systèmes de freins continus pour les chemins de fer sont commandés par l'air comprimé, tels que ceux de Westinghouse, d'Henry, de Wenger, de Soulerin, de Carpentèr. Mélangé à la vapeur, l'air comprimé est employé pour le chauffage des trains de chemins de fer par M. Lancrenon.

Pour régulariser le débit d'air comprimé, on place auprès des compresseurs des réservoirs, qui sont parfois de vieilles chaudières à vapeur. L'eau entraînée par l'air se dépose dans ces réservoirs ; des robinets purgeurs servent à l'évacuer.

La congélation de l'eau, non seulement dans les moteurs, mais même dans les conduites en hiver, est à craindre dans les mines. M. Mathet cite l'emploi avantageux, pour éviter cette congélation, de réservoirs chauffés extérieurement par la vapeur d'échappement des machines et placés près de l'entrée des puits.

M. Mathet, dans les mémoires que nous avons cités, a publié d'intéressants détails sur les remarquables installations qu'il a créées et développées aux mines de Blanzy. L'air comprimé commande, à Blanzy, des treuils, des ventilateurs portatifs, des pompes, des perforatrices et bosseyeuses, des haveuses; l'une des pompes, du système Worthington, a deux cylindres moteurs de 508 millimètres de diamètre, et des plongeurs de 114 millimètres, avec une course de 254 millimètres ; elle refoule à une hauteur de 427 mètres 180 à 200 mètres cubes d'eau en 9 heures, en ne travaillant que la nuit, lorsque les autres moteurs à air comprimé sont arrêtés.

La conduite maitresse de la nouvelle usine de compression construite à Blanzy a un diamètre de 300 millimètres; elle dessert des conduites de 180 millimètres dans les puits. On dépense environ $16^{m3},65$ d'air comprimé, à la pression absolue de $4^{kg},5$ par centimètre carré, par tonne de houille extraite, soit près de 2 millions de mètres cubes par mois. Le mètre cube d'air comprimé coûte un peu plus d'un demi-centime ($0^{f},00653$), amortissement des installation, non compris. Vers le milieu de l'année 1893, le nombre des appareils était de 230, savoir :

93 treuils,	puissance moyenne	10	chevaux.
64 ventilateurs,	—	3	—
25 pompes,	—	5	—
12 bosseyeuses,	—	8	—
36 moteurs divers,	—	1	—

C'est en 1872 que les premiers compresseurs furent

installés à Blanzy : le tableau qui suit y montre le développement considérable de l'emploi de l'air comprimé :

EXERCICE	NOMBRE d'appareils actionnés en service	NOMBRE de millions de mètres cubes d'air comprimé (à $4^{kg},5$)	EXERCICE	NOMBRE d'appareils actionnés en service	NOMBRE de millions de mètres cubes d'air comprimé (à $4^{kg},5$)
1872-73	»	0,1	1883-84	42	3,9
1873-74	»	0,6	1884-85	58	4,4
1874-75	4	0,5	1885-86	65	5,8
1875-76	3	0,4	1886-87	62	4,8
1876-77	6	0,6	1887-88	80	6,3
1877-78	9	0,9	1888-89	95	9
1878-79	10	1,2	1889-90	140	13
1879-80	15	1,6	1890-91	160	15
1880-81	22	1,8	1891-92	200	21
1881-82	38	2,7	1892-93	230	22
1882-83	24	3,4			

L'air comprimé est parfois employé dans les villes pour une distribution générale de puissance motrice, notamment à Paris et à Birmingham ; mais il ne semble pas que les installations de ce genre doivent se multiplier beaucoup. L'un des emplois de l'air comprimé est, en effet, la production de l'électricité, qu'il est plus simple de distribuer directement et qui peut aussi fournir la puissance motrice. Les moteurs à gaz, lorsque le gaz qui les alimente est fourni à un prix raisonnable, conviennent très bien pour les puissances moyennes intermittentes et même continues : il est probable que l'extension de l'éclairage électrique développera beaucoup cet emploi du gaz, encore peu répandu chez nous. Il semble que l'usage de l'air comprimé se trouve le plus souvent limité à des cas particuliers, tel qu'un groupe de petits ateliers.

Comme exemples du transport de l'air comprimé en réservoirs mobiles, nous citerons les applications du système Mékarski à la traction sur les tramways, qui se sont récemment multipliées, à Nantes, près de Paris (chemins de fer nogentais), à Londres, à Berne.

Les locomotives à air comprimé servent aussi dans les travaux souterrains : on les a employées pour le percement du Saint-Gothard.

Les torpilles Whitehead, dont le mécanisme est aujourd'hui décrit dans les publications techniques, emportent l'air comprimé à une pression fort élevée, voisine de 100 atmosphères. Un détendeur réduit cette pression avant l'entrée de l'air dans le moteur.

21. Machines pneumatiques. — Les applications industrielles des machines pneumatiques sont fréquentes. On les emploie notamment : dans les sucreries ; pour pomper certains liquides, pour la vidange des fosses fixes des habitations ; pour certaines transmissions de puissance motrice, étudiées au § 22 ; dans les usines à gaz. Lorsque la dépression produite est faible, comme dans la dernière application citée, les machines pneumatiques peuvent être rapprochées des *ventilateurs rotatifs*, étudiés au § 16.

Les pompes à air de condenseur sont des machines pneumatiques ; elles extraient l'eau avec les gaz, et sont analogues aux compresseurs à piston hydraulique.

Parmi les applications qui ne sont pas étendues, ou qui ont disparu, citons encore les chemins de fer atmosphériques et l'extraction pneumatique dans les mines.

La théorie des machines pneumatiques est exactement la même que celle des compresseurs, notamment en ce qui concerne l'influence des espaces libres et l'échauffement de l'air pendant la compression, qu'on combat par les mêmes moyens.

Ces machines sont habituellement munies de clapets en cuir, en caoutchouc, ou en matière analogue. Quel-

ques-unes ont une distribution par soupapes commandées, par exemple celles de Richter et de Fonterailles. La machine de Windhausen comprime l'air jusqu'à la pression atmosphérique successivement dans deux cylindres.

Pour la plupart des applications, la pression p_1 ne descend pas jusqu'à une très faible valeur. Quand la machine pneumatique épuise l'air contenu dans un réservoir, où règne au début la pression atmosphérique p_a, le travail consommé par coup de piston est faible au début, puis lorsque la tension de l'air est fortement abaissée : ce travail est maximum pour une pression intermédiaire qu'il est facile de déterminer. Abstraction faite des frottements et des résistances secondaires, le travail, pour une excursion aller et retour du piston, serait, en supposant la compression isotherme,

$$pV\mathfrak{L}\frac{p_a}{p},$$

V étant la capacité du corps de pompe et p la pression dans le réservoir. Le maximum du produit de p par le logaritime népérien du rapport de p_a à p s'obtient en égalant à zéro la dérivée de ce produit par rapport à p, ce qui donne

$$\mathfrak{L}\frac{p_a}{p} = 1 \quad \text{ou} \quad p = \frac{p_a}{e} = 0{,}368\, p_a.$$

Avec une compression adiabatique, en admettant que la température ne varie pas dans le réservoir, la même méthode donne $p = 0{,}306\, p_a$.

En d'autres termes, c'est en aspirant l'air à une pression voisine du tiers de la pression atmosphérique qu'une machine pneumatique, de dimensions données, dépensera le plus grand travail par coup de piston. Le travail ne varie pas beaucoup pour des écarts modérés de la pression initiale p_1 autour de cette valeur.

22. Transmissions par l'air raréfié. — Il existe à Paris une distribution de puissance motrice par l'air raréfié, dont l'usine centrale est installée rue Beaubourg. La réunion de nombreux ateliers sur une surface restreinte se prêtait à cette transmission, qui ne supporterait pas de canalisations étendues. En effet, d'après les formules usuelles, la perte de pression due au frottement, sur un parcours donné, est proportionnelle à la densité de l'air, tout étant égal d'ailleurs : il en résulte une perte d'une même fraction de la pression initiale ; mais, à égalité de vitesse, le poids débité est bien moindre avec l'air raréfié, ce qui réduit le travail disponible, facile à calculer dans chaque cas. A égalité de débit en poids, le produit ϖw est constant ; la chute de pression, étant fonction de ϖw^2, est proportionnelle à la vitesse w, d'autant plus grande que ϖ est moindre.

Le fonctionnement des moteurs actionnés est, en principe, celui des moteurs à air comprimé. Seulement la pression initiale est la pression atmosphérique ; la pression à l'échappement est environ un tiers d'atmosphère. Ces moteurs ont une puissance nominale de 25, 50 ou 100 kilogrammètres par seconde, mais peuvent produire notablement plus : le consommateur est libre d'en faire varier la vitesse. Après avoir essayé des moteurs oscillants et rotatifs, on préfère le type vertical à double effet, à fourreau, de MM. Petit et Boudenoot. Le fourreau réduit la hauteur de la machine et augmente les surfaces de réchauffement par l'air ambiant : le cylindre est en outre fondu avec des ailettes extérieures, dans le même but. La distribution se fait à l'aide d'un tiroir commandé par excentrique, qui laisse entrer l'air ambiant par ses bords extérieurs et détermine l'échappement dans la conduite à faible pression par sa coquille intérieure. Toutefois on ne prend pas directement l'air extérieur, mais on lui fait traverser une soupape com-

mandée par un régulateur. Le tiroir ne donne qu'une faible détente. Pour augmenter le travail produit, et éviter l'inconvénient de la formation de givre due au refroidissement de l'air détendu, il est avantageux d'admettre l'air aussi chaud que possible : un bec de gaz permet le chauffage de l'air à son entrée dans l'appareil et sert surtout en hiver. Il est bon aussi de prendre l'air près du plafond des ateliers.

Dans le moteur de 100 kilogrammètres par seconde, le diamètre du cylindre est de 230 millimètres, celui du fourreau de 120 millimètres ; la course est de 130 millimètres. Les garnitures du piston et du fourreau sont en cuir embouti. La vitesse est de 90 à 110 tours par minute.

Dans quelques villes, on utilise, pour le transport des dépêches, à la fois la raréfaction et la compression de l'air. Des boîtes cylindriques en tôle, revêtues de cuir, contiennent les dépêches et sont introduites dans un tube : un des cylindres porte un cuir flexible formant piston. A l'une des extrémités du tuyau, l'air est aspiré ; il est comprimé à l'autre. La vitesse des boîtes est habituellement de 10 à 15 mètres par seconde.

Les canalisations formant des mailles, les machines motrices peuvent être groupées en quelques points seulement, et les compresseurs placés à côté des machines pneumatiques. Les pressions n'atteignent pas deux atmosphères : le travail est presque en entier absorbé par les résistances des conduites au mouvement de l'air, une faible force suffisant à la propulsion des boîtes. Des réservoirs à air comprimé et raréfié régularisent l'action des machines, les expéditions étant intermittentes.

La transmission par l'air raréfié est largement appliquée à la commande des freins sur les chemins de fer. Les montages les plus simples comprennent un éjecteur à vapeur, qui aspire l'air dans une conduite, régnant tout le long du train, et au-dessus de pistons à diaphragme ; lorsqu'on veut appliquer les freins, on fait agir l'éjecteur, et les pistons commandent la timonerie qui serre les sabots contre les roues : des contrepoids les desserrent lorsqu'on laisse rentrer l'air. La pression peut être abaissée jusqu'à un tiers d'atmosphère environ.

La conduite doit débiter, le plus rapidement possible, un certain volume d'air pris à la pression atmosphérique : on peut en déterminer le diamètre en appliquant les formules usuelles du frottement. Mais le mouvement n'est pas permanent et le serrage des freins n'est pas simultané. Des expériences directes ont donné quelques éléments empiriques pour le tracé des appareils.

Le frein à vide, que nous venons de décrire, est fort employé en Autriche et sur le matériel d'un chemin de fer français ; mais c'est surtout la forme, un peu plus compliquée, de frein automatique, qui s'est répandue, principalement en Angleterre. La faible pression règne en permanence dans une conduite générale et dans des réservoirs placés sous chaque véhicule : une rentrée d'air dans la conduite commande un appareil distributeur, qui isole le réservoir de la conduite et le met en relation avec le cylindre moteur des freins : c'est, en principe, la disposition des freins à air comprimé. Mais on préfère en général une disposition plus simple de l'appareil distributeur, réduit à une simple bille qui se colle sur l'orifice du réservoir et l'isole au moment de la rentrée d'air : la face supérieure du piston moteur du frein communique avec le réservoir ; la face inférieure est en relation constante avec la conduite ; l'air qu'elle amène exerce sa pression motrice sous ce piston.

Avec cette disposition, la conduite doit débiter beaucoup plus d'air qu'avec la première ; on augmente la rapidité du serrage en munissant certains véhicules de soupapes supplémentaires de rentrée d'air qui s'ouvrent lorsque la pression s'élève dans la conduite.

L'étude théorique de la transmission de la pression est délicate et peu sûre : on s'appuie surtout, pour le tracé des appareils, sur le résultat des expériences directes.

Ce sont presque toujours des éjecteurs qui aspirent l'air ; un petit appareil entretient la basse pression malgré les défauts des joints ; un appareil plus fort sert pour les desserrages rapides. Au lieu de petit éjecteur, on a employé, sur le Great Western Railway, une petite machine pneumatique, commandée par le mécanisme de la locomotive.

BULLETIN.

LES MINES D'ARGENT D'ORURO (BOLIVIE).

Par M. WIENER, Consul général de France en Bolivie.

Oruro est situé par 18°9′ de latitude Sud et 69°35′ de longitude Ouest du méridien de Paris. Les montagnes près desquelles se trouve la ville et qui renferment les gîtes argentifères s'élèvent à 4.170 mètres d'altitude. Une voie ferrée de 924 kilomètres relie ce centre au port d'Antofagasta. L'ancienne route à la côte, pour bêtes de sommes (*camino de herradura*), aboutissant à Arica, mesurait environ 514 kilomètres.

Avant la conquête, les indigènes avaient travaillé quelques-uns des filons qu'on exploite aujourd'hui, notamment la mine d'Atocha. Après la mort d'Atahualpa, dernier Inca, ils firent disparaître les traces de leurs fouilles.

En 1595, un curé, Francisco de Medrano, découvrit un puissant gisement. Aussitôt l'émigration se porta de ce côté. En 1600, il se fonda, au pied du *cerro*, une ville appelée San Miguel de Oruro. Une cédule de l'Escurial la baptisa en 1606 du nom de San Felipe de Austria de Oruro. Un trésorier royal y fut envoyé pour percevoir le denier de la couronne (*el quinto*). Le premier trimestre produisit à Philippe III sept millions de piastres.

Le rendement des mines aurait donc été de 35 millions. Ce chiffre est d'autant plus remarquable que la piastre valait alors 14 réaux ou 7 francs environ.

Malgré ces résultats, le grand conseil des Indes, par un des inexplicables caprices dont il était coutumier, refusa tout appui aux mineurs de cette région.

Il ne leur concéda pas notamment de *mitayos*, la corvée des Indiens si nécessaire à une altitude où les autochtones seuls résistent aux rigueurs du climat.

En dépit de ces difficultés, on exploita avec succès les filons suivants :

En 1596, Boca Grande; en 1607, la Flamenca; en 1630, Nuestra Señora de Atocha; en 1631, Pié de Gallo; en 1633, Abicaya; en 1640, Santa Brijida; en 1646, San Nicolas de Tolentino; en 1650, Nuestra Señora de la Soledad; en 1653, la Veta Anticona; en 1700, Purisima Concepcion; en 1717, Rosario; en 1718, Santo Domingo; en 1730, San Antonio; en 1732, la Joya; en 1733, la Llagua; en 1740, Chocoña; de 1742 à 1748, Barcas, Soracachi, Condcauqui, Sillota, Burguellos, Alita, Cerrani, Ancoñuño, Actaraqui, Rasco.

En 1762, on travaillait sept mines dans la montagne Santa Ana. En 1772, on reprit les fouilles de la Tetilla. Ces travaux furent brusquement arrêtés par la révolte indigène de 1781. Les mineurs espagnols périrent assassinés.

La région qui porte aujourd'hui le nom de Bolivie dépendait alors, sous le nom de Charcas, de la vice-royauté de Buenos-Ayres. L'audience royale installée dans cette ville fit faire une rafle des métis d'Oruro, accusés de connivence avec les Indiens insurgés. Ils furent conduits devant le tribunal compétent pour être jugés, à 4.000 lieues du point où le massacre avait eu lieu. Aucun d'eux ne retourna sur les hauts plateaux. Le reste des habitants se dispersèrent, et Oruro demeura abandonné.

Les registres de la trésorerie royale avaient été brûlés au cours de la révolte. Les livres de recettes de Buenos-Ayres inscrivirent jusqu'à l'année 1773 une production moyenne de 1.200.000 piastres. Ce chiffre est faible, comparé au rendement du premier exercice. La diminution s'explique toutefois par le fait que les filons, jusqu'à 80 et 100 mètres de profondeur, contenaient des chlorures d'argent très riches. A partir de cette zone, ils faisaient place à des sulfures, que les Espagnols ne savaient pas traiter. On en a retrouvé d'importants dépôts dans les *canchas* (carreaux des mines).

En 1846, un ingénieur français, M. Auguste de la Rivette, retrouva plusieurs anciens filons dont l'accès avait été obstrué, et constitua une société pour leur exploitation. Les premiers travaux se firent à San José Chico, Santo Cristo et la Tetilla.

En 1861, Oruro produisit à peine 4.000 marcs (*).

En 1865, M. Louis Armand Blondel avait entrepris l'exploitation des mines Atocha, Colorado, Alacranes et Sapos. Il avait aussi exploré San José Grande, la Tetilla et le Socavon de la Virgen. De 1865 à 1885, Atocha a donné près de 40 millions de francs.

(*) Voir la note de la page suivante.

En 1885, une société fut formée à Santiago du Chili sous le nom de *Compañia minera de Oruro*. Elle acheta le Socavon de la Virgen. Après la chute de la maison Blondel, ruinée par des spéculations malheureuses, cette Compagnie loua la mine d'Atocha. Aujourd'hui elle travaille surtout les filons dits Chilena, Razgo, Inch et Mercedès. Son capital de 200.000 francs fut principalement employé à des travaux d'exhaure. Cette première mise de fonds a produit un rendement dont voici le résumé :

ANNÉES	CAISSONS (*).	TENEUR EN MARCS par caisson	MARCS (**)
1887	824	56,50	47.597
1888	1.174	68,37	80.561
1889	1.173	73,05	89.025
1890	2.661	40,32	107.316
1891	2.677	39,51	105.773
	9.109		430.172

Pendant la période de 1887 à 1891, on a donc extrait 9.109 caissons de teneurs diverses, contenant 430.172 marcs; en 1886, la mine avait fourni 20.000 marcs; soit, en six années, environ 108.600 kilogrammes d'argent.

En 1866, M. Ascarrunz acheta le filon de la mine d'Itos, voisin d'Atocha. Cette propriété avait appartenu à la famille Ramos, qui exploitait les veines de San Augustin, Itos et Colon. La production moyenne était alors de 20.000 marcs. En 1888, une Compagnie chilienne fit l'acquisition de ces veines. Dès lors, le rendement accusa des chiffres supérieurs :

ANNÉES	CAISSONS	TENEUR EN MARCS par caisson	MARCS
1888	874	63,25	55.286
1889	796	62,76	49.977
1890	1.042	63,97	66.657
1891	937	61,18	57.332
	3.649		229.252

(*) 1 *caisson* = 50 quintaux de 46 kilogrammes.

(**) 1 *marc* = 230 grammes d'argent = 10 *piastres* = 20 *boliviens*. 1 piastre = 100 *centavos*. La valeur nominale de la piastre est de 5 francs.

La production totale est donc de 3.649 caissons de teneurs diverses, ayant fourni 229.252 marcs, soit 52.728 kilogrammes d'argent.

En 1891, la production d'argent à Oruro a été la suivante :

Compañia minera de Oruro (chilienne)	102.000	marcs
— San José Chico (bolivienne)	78.000	
Compagnie Itos (chilienne)	48.000	
— Atocha (chileno-française)	18.000	
— Tetilla (française)	90	
— Divers	2.000	
Total	248.090	marcs

ou 57.060 kilogrammes.

Ces chiffres devront être augmentés, pour des statistiques plus récentes, de la production de la Tetilla qui, de 20 kilogrammes en 1890, est montée à plus de 4.000 kilogrammes pendant le premier semestre de 1893.

En 1890, un syndicat s'était constitué à Paris, au capital de 150.000 francs, pour désencombrer le *socavon* de cette mine creusé dans les siècles antérieurs sur une longueur plus de de 800 mètres, reconnaître les filons et rechercher s'il valait la peine de former une société pour l'exploitation en règle des 69 hectares 1/2 composant la propriété minière de la Tetilla. Au début de 1892, le syndicat, convaincu que la mine méritait l'emploi d'un capital plus considérable, organisa une société anonyme, dont le siège social est à Paris et dont les actionnaires sont presque tous français. Le capital de la Compagnie est de 600.000 francs.

Les travaux de la mine s'agrandirent rapidement sous la direction de M. Emile Basadre Forero, ingénieur.

L'exploitation alla augmentant peu à peu, ainsi qu'il résulte du tableau suivant :

	Tonnes de minerai.	Contenu en argent.
1er semestre 1892	88t,490	668kg,674
2e semestre 1892	333t,592	2.442kg,511
1er semestre 1893	751t,250	4.176kg,235

Les minerais contiennent beaucoup de galène. Tous, à l'instar des autres minerais d'Oruro, renferment en outre une forte proportion d'étain.

On fait actuellement les préparatifs d'une exploitation au moyen de machines à vapeur du type Fournier et Cornu, qui se généralise en Bolivie.

La propriété de la Compagnie se trouve sur des hauteurs qui

orment un des contreforts de la chaîne d'Oruro, constitué par du porphyre trachytique, sans interposition de schistes argileux comme dans la majeure partie des mines voisines.

Le groupe des filons coupés par le socavon de la Tetilla, tous plus ou moins parallèles et inclinés dans le même sens, paraît être indépendant des groupes des autres mines et ne se relier avec eux que par des filons extrêmement minces. Le remplissages de ces *vetas*, au lieu où elles s'exploitent à présent, consiste en galène, argile, pyrite de fer, sulfo-antimoniure d'argent, parfois quartz, gypse ou sulfate de baryte et étain intimement mélangé avec de la pyrite.

Chaque mine possède une grande galerie d'exploration (*socavon*) à travers bancs, d'où partent les *vetas* ou filons.

Voici les longueurs de quelques-unes de ces galeries :

La Tetilla	867 mètres.
La Virgen	517 —
Atocha	170 —
Itos	110 —

Certains filons sont actuellement reconnus sur des étendues considérables : ainsi, le Razgo (socavon de la *Virgen*), sur plus de 400 mètres; la veta *Chilena* sur 1.400 mètres. La largeur des galeries qui y sont percées varie, suivant la puissance des filons, de 2 à 8 mètres.

Voici un tableau donnant la production d'Oruro depuis 1865, par périodes de cinq années :

Années.	Marcs.
1865-69	354.000
1870-74	512.000
1875-79	547.000
1880-84	833.850
1885-89	871.928
1890-91	490.818
Total	3.609.596 marcs.

Soit 830.000 kilogrammes, auxquels il faut ajouter au minimum 25 p 100 pour tenir compte des vols des *cangalleros*. Le chiffre réel serait donc environ 1.037.500 kilogrammes d'argent.

La zone argentifère mesure à peu près 11 kilomètres sur 3 1/2, par conséquent environ 38 kilomètres carrés.

Les montagnes où se trouvent les filons sont des masses de porphyre trachytique qui se sont fait jour à travers des terrains sédimentaires de l'époque primaire. Elles s'étendent dans la

direction Est-Ouest. Ce sont : Pié de Gallo, Rubiales, Todos Santos et San Cristoval. L'extrémité Sud est formée par la Tetilla, l'extrémité Nord par San Antonio.

Le croquis ci-contre, à l'échelle de 1/25.000, extrait d'un plan dressé par M. Louis Galland, agent consulaire de France, donne la disposition de cette chaîne et des mines qui y sont exploitées.

Voici l'état actuel de ces mines : la plus grande profondeur des travaux atteint maintenant 130 mètres au-dessous du niveau du haut plateau, au socavon de la Virgen (la Tetilla travaille encore au niveau de son socavon); 180 mètres à Itos; 310 à San José, et 220 à Atocha. Les machines d'exhaure ne rejettent jusqu'à présent que 80 mètres cubes par jour, quantité minime quand on la compare, par exemple, à celle de Huanchaca qui déverse plus de 9 litres par seconde, soit près de 800 mètres cubes par 24 heures. On calcule qu'un quintal de minerai revient en moyenne entre 2 et 3 boliviens.

Oruro semble appelé à produire des quantités de métal supérieures, attendu que, suivant une loi à peu près générale dans les filons boliviens, la teneur augmente avec la profondeur.

Les mines actuellement exploitées sont à peine arrivées à la profondeur où les régions voisines ont rencontré leurs grands gisements.

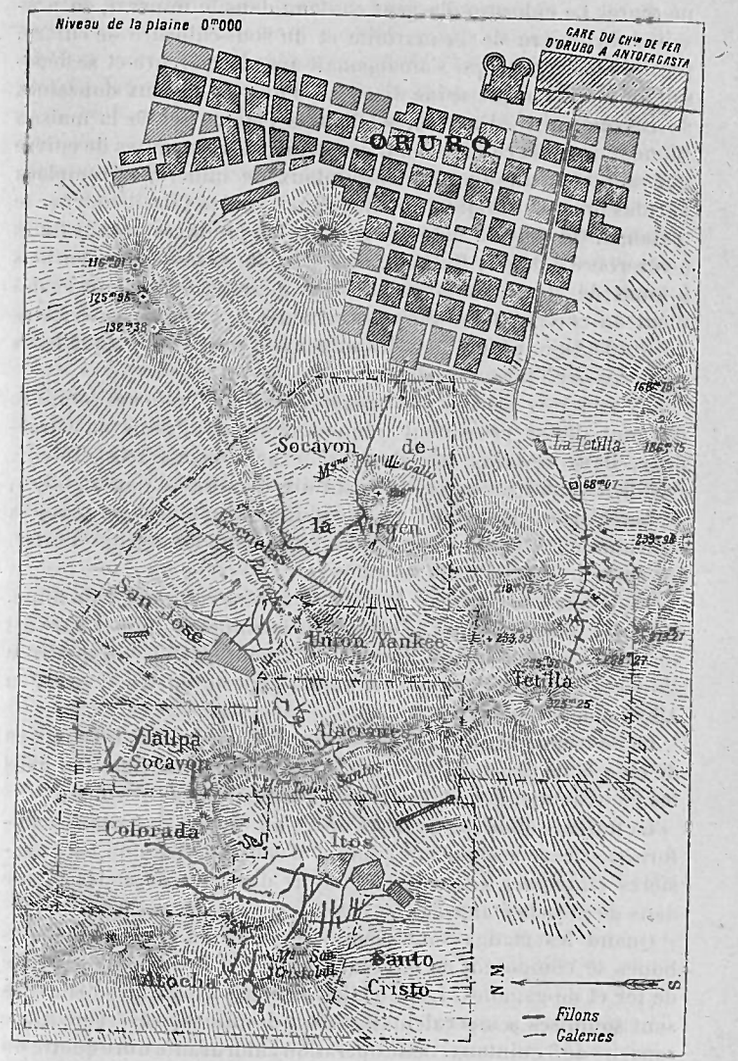
Le danger qui menace Oruro, comme d'ailleurs toutes les mines d'argent, est la dépréciation de ce métal. Reste à savoir si la plus-value des filons en profondeur compensera l'augmentation des frais et la baisse du produit.

Le traitement des minerais se fait dans des usines mues par la force hydraulique et situées aux alentours d'Oruro, à quelques lieues de la ville (*). Ces établissements se nomment : Piloco, Peña Blanca, Cantu, Obrajes, Socabella, Bellavista, Alantaña, Machacamarca, etc. Ce dernier établissement seul travaille sur une grande échelle. Il dispose de 150 chevaux-vapeur, dont 50 hydrauliques.

Le combustible employé est la *taquia* (mottes d'excréments de lama), qui coûte 50 centavos par quintal (de 46 kilogrammes), la *yareta*, plante résineuse des hauts plateaux (environ 45 centavos le quintal), la tourbe 60 centavos le quintal, le charbon de bois 4,90 boliviens et le charbon de terre 5 boliviens.

Jadis on traitait le minerai dans des marmites de cuivre d'une contenance de 125 livres. Après l'avoir calciné dans de petits

(*) Quelques mines envoient leurs minerais aux usines d'Antofagasta.



Croquis des mines d'Oruro à l'échelle de 1/25.000, d'après un plan au 1/10.000 dressé par M. L. Galland, agent consulaire de France.

fours à réverbère, on l'additionnait d'eau chaude, de sel et de mercure. Le chlorure d'argent contenu dans le minerai, en présence du cuivre de la marmite et du sous-chlorure de cuivre, précipitait l'argent, qui s'amalgamait avec le mercure et se déposait au fond. Chaque usine disposait d'une ou de deux douzaines de ces marmites. En 1886, M. Charles Petot, chef de la maison Blondel, modifia ce procédé. Il construisit des marmites de cuivre pouvant contenir de 25 à 30 quintaux de minerai et remplaça par des bras mécaniques l'homme qui naguère faisait tourner le mélange. On doit au même ingénieur les premiers grands fours à réverbère d'Oruro. En 1888, il fit faire de vastes cuves en bois à fonds de cuivre mobiles. Les bras mécaniques étaient également en cuivre. On se rapprochait ainsi du *pan* des Américains du Nord. Aujourd'hui, tous les mineurs d'Oruro ont calqué leurs procédés sur l'invention de M. Petot.

Les minerais d'Oruro sont généralement du sulfo-antimoniure d'argent. Ils se présentent fréquemment sous forme de tétraèdrite. Dans certains cas, l'analyse exacte en est très difficile. Parfois l'argent accompagne le sulfure d'antimoine en aiguilles, la berthiérite, la polybasite, la phillipsite, le cuivre gris, la bournonite, etc. Il accompagne également les pyrites de fer. On en trouve aussi dans les galènes.

On commence par trier le minerai sur les carreaux de la mine. Puis on sépare la *guia*, c'est-à-dire le minerai dont le titre est supérieur à cent dix-millièmes (il atteint parfois de quatre à cinq cents dix-millièmes). La *guia* s'exporte en Angleterre, en Allemagne et en France.

Le deuxième choix s'appelle *broza*. Il comporte un titre moyen de cinquante dix-millièmes. On le traite par amalgamation dans les établissements métallurgiques des environs d'Oruro.

La pulvérisation des brozas s'opère au moyen de bocards californiens traversés par un courant d'eau qui entraîne les poussières (*llampus*) à travers les tamis des bocards et les dépose dans de grands étangs.

Quand les étangs sont pleins de boue, on les décante. Ces boues se composent de minerai d'argent, d'antimoine, de pyrite de fer et de gangues. Lorsqu'elles ont été séchées au soleil, elles sont soumises à une calcination dans des fours à réverbère d'une capacité de 5 quintaux. Cette opération chlorurante dure quatre ou cinq heures. Le minerai ainsi préparé est ensuite traité dans les chaudrons (*tinas*) dont il a été parlé plus haut, pendant quatre heures. L'amalgame est lavé au mercure et à l'eau, puis filtré. La distillation dans une cornue produit le saumon (*piña*), débarrassé du mercure, sous une forme poreuse, avec un titre moyen de 970 à 980 millièmes. Ce traitement revient généralement à 100 boliviens par caisson de 50 quintaux. Ce procédé permet de retirer quelquefois jusqu'à 86 p. 100 de l'argent contenu dans le minerai, en se basant sur l'évaluation obtenue au moyen de la coupellation.

Les pertes d'argent sont dues en partie à la volatilisation (*) qui se produit lors de la calcination du métal. Il reste aussi environ trois dix-millièmes dans les résidus de l'amalgamation.

La perte de mercure est de 42 grammes par marc, c'est-à-dire par 230 grammes d'argent. La préparation d'une semblable quantité de ce métal absorbe un kilogramme de cuivre.

Naguère on délaissait les minerais d'un titre de vingt dix-millièmes. Les procédés de plus en plus perfectionnés qui viennent d'être mentionnés permettent aujourd'hui de tirer profit de filons qualifiés très pauvres.

Il a déjà été dit plus haut que toutes les mines d'Oruro contiennent de l'étain. D'importants gisements de ce métal ont été d'ailleurs reconnus sur divers points de la Bolivie. Cette richesse, encore à peine signalée, permettra aux mineurs du pays de trouver une compensation dans le cas où l'exploitation des mines d'argent cesserait d'être rémunératrice. L'étain a été extrait dans le Haut-Pérou depuis plus d'un siècle. La mine de Huanuni produisait déjà, dès 1784, une moyenne de 1.000 quintaux par an (**). L'étain produit était, au moins en partie, expédié en Espagne et utilisé, pour la fabrication des canons, à Séville et à Barcelone. Les *brozas* d'Atocha contiennent généralement 15 p. 100 d'étain, celles d'Itos en ont jusqu'à 30 p. 100; le socavon de la Virgen et le Razgo en fournissent 4 à 8 p. 100.

Pour utiliser l'étain dans les minerais traités en vue de l'ex-

(*) Pour donner une idée des quantités d'argent qui se perdent par la volatilisation, il suffit de citer le fait suivant : la Compagnie de Huanchaca a construit, il y a quelques années, une cheminée qui suit les anfractuosités de la montagne et dont le but était de rejeter dans une gorge voisine les fumées chargées de vapeurs arsenicales rendant le séjour de Huanchaca sinon mortel, au moins très dangereux. Cette cheminée, qui mesure environ 380 mètres de hauteur et dont la construction a coûté 80.000 boliviens, est nettoyée annuellement pendant les journées du carnaval. La Compagnie retire des suies une moyenne de 150.000 boliviens d'argent qui vient augmenter, presque sans frais, sa production.

(**) A 9 boliviens le quintal.

traction de l'argent, on lave ou on concentre soit à la main, soit à l'aide de moyens mécaniques, les résidus de l'amalgamation. On obtient ainsi un produit appelé *barilla* d'étain, d'un titre moyen de 65 p. 100. Il est généralement expédié en Europe sous cette forme de poudre granulée, parfois ferrugineuse.

MM. Dupleich et Dupuis ont été les premiers à établir, à Changamoco, une usine pour fondre les barillas et expédier des barres qui portent leur marque. Changamoco est situé dans le désert d'Atacama, par près de 4.000 mètres d'altitude, au pied du Sajama. Un torrent, qui descend des flancs de cette montagne, fournit la force motrice pour mouvoir les soufflets de leurs fourneaux de 30 tonnes de capacité.

Il convient d'ajouter enfin, pour compléter les indications sur la richesse du sous-sol de cette région, qu'on vient d'y découvrir des quartz aurifères.

Oruro est la première ville de cette république que desserve un chemin de fer. Elle est destinée, si le pays se développe d'une façon normale, à devenir, en quelque sorte, le centre du réseau bolivien. La prolongation de la ligne vers La Paz sera probablement commencée dans les premiers mois de 1894. L'exécution d'une ligne, traversant Cochabamba pour aller jusqu'au Beni, paraît assurée. La construction d'un embranchement de Challapata (station de la ligne d'Oruro), d'une part vers Sucre et de l'autre vers la grande zone minière de Colquechaca, Aullagas, Gallofa, etc, est également très probable. Cette dernière ligne consistera sans doute en un tramway à vapeur à voie de 70 centimètres de largeur.

Oruro aurait ainsi toutes les chances de devenir la véritable capitale du pays, si son climat exceptionnellement rigoureux n'en éloignait tous ceux qui n'y sont pas appelés par l'espoir des gains à réaliser dans l'exploitation de ses richesses minérales.

(*Extrait d'un* Rapport *adressé à* M. le Ministre des affaires étrangères *par* M. Wiener, Consul général de France à La Paz.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE ET MÉTALLURGIQUE DE LA PRUSSE EN 1892.

1° *Mines et Salines.*

SUBSTANCES MINÉRALES	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX MOYEN
	tonnes	francs	fr. c.
Houille	65.442.558	578.973.095	8,84
Lignite	17.219.033	58.612.122	3,40
Asphalte	12.665	176.905	13,96
Pétrole	1.585	206.271	130,13
Minerai de fer	4.081.306	31.431.600	7,70
— de plomb	141.660	17.037.737	120,27
— de cuivre	557.172	24.962.624	44,80
— de zinc	797.698	26.049.180	32,65
— d'or et d'argent	4,34	56.569	13.034,00
— de manganèse	31.388	521.948	16,63
— de cobalt	534	71.585	134,05
— de nickel	529	22.140	41,85
— d'arsenic	1.202	60.167	50,00
Pyrites de fer	104.346	909.467	8,71
Soufre	1.850	245.156	132,51
Sel	510.447	9.591.696	18,79

2° *Usines.*

MÉTAUX	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX MOYEN
	tonnes	francs	fr. c.
Fonte	3.439.081	209.176.510	60,82
Cuivre	21.559	26.487.913	1.228,62
Plomb	90.617	23.421.718	258,46
Zinc	139,725	67.616.972	483,93
Etain	644	1.430.342	2.221,00
Manganèse	39	107.379	2.753,00
Cobalt	54	1.180.352	21.858,00
Nickel	747	3.676.777	4.922,00
Antimoine	210	113.680	541,33
Arsenic	592	136.480	230,54
	kilogr.		
Or	116	398.847	3.438,00
Argent	301.374	43.229.159	143,44

(*Extrait de la* Zeitschrift für das Berg, Hütten, u. Salinen-Wesen, im Preussischen Staate.)

EMPLOI DU FEU VERT POUR LES SIGNAUX DE CHEMINS DE FER.

Dans notre mémoire sur le *système anglais des signaux de chemins de fer* (*Annales*, 9e s., t. III, p. 355), nous avons indiqué la préférence donnée par plusieurs Compagnies à l'emploi de deux feux seulement sur les sémaphores, le rouge pour l'arrêt et le vert pour la voie libre. La vue du feu blanc, de même que l'extinction d'une lampe, indique un dérangement des appareils, qu'on doit alors supposer à l'arrêt. Ce système prend une grande extension en Grande-Bretagne : le London and North Western railway et le Caledonian railway viennent de l'adopter.

Le London and North Western a les plus fortes recettes parmi les réseaux anglais (5.443.000 livres pendant le second semestre de 1893) ; le développement de ses lignes est de 3.040 kilomètres. Seul le Great Western a un réseau plus étendu (4.000 kilomètres).

Ed. Sauvage.

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE

ROYAUME DE SIAM.

ERRATUM

Le *tical* siamois vaut 3/5 de la piastre, et non 5/3 comme il a été dit en note de la page 277, soit, au cours de 3 francs environ, 1f,80 or et non 5 fr.

L. A.

LES RICHESSES MINÉRALES

DE

LA NOUVELLE-ZÉLANDE (*)

Par M. de LAUNAY, Ingénieur des mines, Professeur à l'École nationale supérieure des mines.

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES BIBLIOTHÈQUE

La production minière de la Nouvelle-Zélande a été, en 1892, la suivante (**) :

Or	23.868.000 fr.	7.380 kilog.
Argent (extrait des gisements aurifères)	99.900 —	682 —
Minerai d'antimoine	122.000 —	364 ton.
Minerai de manganèse	30.200 —	521 —
Autres minéraux	15.700 —	» —
Charbon et coke	9.577.900 —	684.700 ton.
	33.713.700 fr.	

(*) Le point de départ de ce travail a été l'analyse du rapport du département des mines de Wellington, par R. J. Seddon, en 1893. Pour compléter les chiffres statistiques extraits de ce volume par une description sommaire des gisements, nous avons été conduit à étudier les principales publications géologiques relatives à la Nouvelle-Zélande, notamment celles de Hochstetter, de Hutton, de Ulrich, etc. (Voir une bibliographie, p. 554.)

Toutes les mesures anglaises ont été converties en mesures françaises, sauf les onces (31gr,103), que nous avons conservées pour l'or, cette mesure étant d'un usage général.

(**) La statistique comprend, dans la production minérale, 12.900.000 francs de gomme de kauri. Y compris la gomme, il y a eu, de 1892 à 1893, un accroissement de 640.000 francs. La gomme de l'arbre kauri valait, en 1853, 470 francs la tonne ; en 1880, le prix est monté à 1.270 francs. Cette industrie, localisée dans le dis-

En récapitulant la production totale de cette colonie depuis l'origine, du 1er janvier 1853 au 1er janvier 1893, on obtient :

Or (12.308.296 onces)	1.209.690.000 fr.
Argent	3.600.000 —
Minerai de cuivre	446.000 —
— de chrome	934.000 —
— d'antimoine	1.150.000 —
— de manganèse	1.379.000 —
Hématite	5.600 —
Autres minéraux	1.690.000 —
Charbon et coke	103.549.300 —
	1.322.443.900 fr.

Comme on le voit, les deux productions importantes sont l'or et le charbon. La production de l'or, qui date de 1857, a été, un moment, beaucoup plus forte ; en 1886, elle atteignait 69.688.000 francs. En 1887, elle était retombée à 20.227.500 francs et occupait 12.000 ouvriers. En 1892, pour 23.868.000 francs, elle a occupé également 12.200 ouvriers. La baisse tient à l'épuisement progressif des alluvions et aux bénéfices restreints que semblent faire la plupart des mines.

Le développement des exploitations houillères est récent ; en 1887, elles ont produit 558.620 tonnes de charbon et coke ; en 1892, 684.700. En 1892, la Nouvelle-Zélande, a d'ailleurs, eu à souffrir de la crise générale qui a sévi sur les colonies australiennes.

trict d'Auckland, arrive aujourd'hui à des chiffres comparables à ceux de l'or.

On connaît, dans tous les gisements de houille de la Nouvelle-Zélande, une résine fossile, l'ambérite, que l'on assimile à celle du conifère, le kauri (Dammara australis) (Ramond, *Annuaire géologique*, 1890, p. 807.) Cette ambérite serait, d'après une enquête récente, le produit fossilisé des arbres qui ont concouru à la formation de la houille et se trouverait aussi bien au sud qu'au nord de l'île, tandis que la gomme actuelle ne se produit que dans la partie la plus chaude de la Nouvelle-Zélande, c'est-à-dire au nord, dans l'île d'Auckland.

Parmi les minéraux accessoires, nous aurons à citer l'existence de riches gisements de schéelite qui peuvent avoir de l'intérêt pour notre industrie française préoccupée de se procurer du tungstène depuis quelque temps.

Nous examinerons successivement ces divers produits ; mais auparavant rappelons, en quelques mots, la constitution géologique des îles qui forment la Nouvelle-Zélande.

Géologie. — La géologie de la Nouvelle-Zélande a, depuis les travaux célèbres de Hochstetter, été l'objet de nombreuses publications du *Geological Survey of New Zealand*. Les principaux traits, qui nous suffisent ici, ont été, en outre, résumés : en 1885 par Hutton ; en 1888 par Suess ; en 1891 par G. Ramond.

On sait que la Nouvelle-Zélande (voir les cartes ci-jointes, Pl. IX, *fig.* 1 et 2) se compose de trois îles : l'île du Nord, l'île du Sud (parfois appelée l'île du Milieu) et l'île Stewart. Ces trois îles ont une direction générale N.-E.-S.-O., que l'on y retrouve, presque partout, dans la direction des zones de terrains anciens et qui est, on le sait, une des directions géogéniques importantes de cette partie du globe. Cependant, toute la partie sud de l'île du Sud (province d'Otago) et l'île Stewart, témoignent d'une inflexion remarquable des couches arrivant à se diriger presqu'à angle droit avec cette direction générale, c'est-à-dire N.-O.-S.-E., et indiquant ainsi l'existence d'une seconde chaîne tranchée normalement par la côte à Dunedin.

L'île du Sud comprend, près de sa côte ouest, un long anticlinal de granite, gneiss et micaschistes formant la base d'une belle chaîne alpestre. Cette région, avec ses glaciers et ses fjords, ressemble singulièrement à la

Scandinavie. Très escarpée à l'ouest, sur la mer, elle a des pentes beaucoup plus adoucies à l'est. Sur le versant ouest de cet anticlinal, les terrains paléozoïques (*) apparaissent dans la province de Nelson, mais avec peu de développement. Au contraire, à l'Est de l'axe granitique, on a, d'un bout à l'autre de l'île et à ses points culminants (Mt Cook, 3.800 mètres), une bande continue de terrains primitifs et primaires formant le flanc ouest d'un synclinal mézozoïque et, reparaissant, dans l'est de l'île, sur l'autre flanc de ce synclinal. Cette dernière traînée paléozoïque, également accompagnée d'un synclinal mézozoïque, traverse dans toute sa longueur, l'île du Nord, de Wellington à la baie d'Abondance. Quant à l'anticlinal archéen de l'Ouest, il ne reparaît pas dans l'île du Nord ; mais le paléozoïque, qui lui est associé, s'y retrouve en lambeaux sous les roches volcaniques. Au Sud du Mt Cook, le paléozoïque s'incurve, ainsi que nous l'avons dit, avec une direction d'abord N.-O.-S.-E., plus loin, presque E.-O.

Tous ces terrains anciens ont été disloqués et plissés à un grand nombre de reprises, notamment entre le silurien et le carbonifère (comme en Australie) puis entre le jurassique et le crétacé, pendant le tertiaire et même le pliocène. Le soulèvement de la principale chaîne montagneuse est jurassique, et c'est même à cet âge relativement ancien des Alpes de la Nouvelle-Zélande qu'on attribue leur aspect très différent de celui des Alpes suisses : l'action météorique s'étant depuis plus longtemps exercée sur elles, les sommets déchiquetés y sont plus fréquents, les gorges plus profondes, les terrasses des vallées plus complètes, les éboulis plus importants (**).

(*) On connaît, en Nouvelle-Zélande, le silurien certain, le dévonien douteux et le calcaire carbonifère surmonté des couches à glossoptéris.

(**) On peut noter, sur tout le flanc est de la chaîne des Alpes zéélandaises, une longue série de lacs en train de se combler rapidement. La disposition de ces lacs, analogue du reste à celle des lacs marginaux sur les deux flancs des Alpes, présente quelque intérêt comme comparaison avec nos terrains houillers lacustres du centre de la France.

Jusqu'à l'époque actuelle, les actions mécaniques se sont perpétuées ; on sait que l'île du Nord est remarquable par ses phénomènes volcaniques (volcan de Tongariro, geysers d'Auckland, etc...) ; on croît même avoir constaté un mouvement général du sol analogue à celui dont on suppose l'existence en Scandinavie (*).

Nous n'insisterons que sur les terrains renfermant des substances utiles.

L'or se trouve, comme nous le verrons, en filons : 1° dans les micaschistes d'Otago ; 2° dans le silurien et le carbonifère au voisinage de roches plutoniques ; 3° dans le tertiaire, en rapport avec les andésites et rhyolithes de la Thames (ou Tamise), province d'Auckland. Des alluvions aurifères ont commencé à se former dès le début du tertiaire.

Le manganèse est dans le carbonifère.

Quant au charbon, pour la plupart des auteurs qui ont écrit sur la Nouvelle-Zélande, les principaux dépôts appartiendraient à la partie supérieure du crétacé, au système dit crétacé-tertiaire de sir James Hector (**). Ce système crétacé-tertiaire a donné lieu à de nombreuses controverses. Il y a quelques années, von Ettinghausen (***) le considérait comme entièrement crétacé. Plus récemment, Hutton a essayé de montrer que les houilles appartenaient

(*) Faudrait-il y voir un effet du même phénomène de recul des glaciers invoqué par M. de Lapparent, en Norvège, comme dilatant les couches supérieures du sol ?

(**) Ainsi nommé parce qu'on y trouve à la fois des fossiles crétacés et tertiaires.

(***) Von Ettinghausen : On the fossil flora of New-Zeeland (*Géol. mag.*, 1887, p. 363), et Zeiller (*Annuaire géologique*, 1888, p. 892).

à quatre étages différents rattachés, d'une façon toute hypothétique, aux diverses formations européennes, en sorte qu'on exploiterait du charbon : dans le crétacé supérieur à Greymouth, Pakawau, etc...; dans l'oligocène, à Waikato, Kaitangata ; puis, à l'état de lignite, dans le miocène de Pomahaka, ainsi que dans le pliocène ancien d'Otago, Manukau, etc. C'est cette dernière division que nous suivrons.

Le *silurien* est représenté par les séries de Baton River (Sil. sup.) et de Mont-Arthur (Sil. inf.) ; il est bien développé au nord de l'île du Sud, près de Golden Bay dans la province de Nelson (Collingwood), se poursuit le long de la côte ouest et tourne avec la chaîne vers Dunedin.

Il comprend : à la base, du calcaire cristallin avec schistes bitumineux et micacés ; puis des schistes bleus à graptolites ordoviciens ; enfin des schistes calcaires et des calcaires argileux. Ce terrain, dans les provinces de Nelson et d'Otago, a été disloqué et métamorphisé par le granite (*).

Le *dévonien* est fort peu développé (Reeffton, etc.).

Au-dessus, le *carbonifère*, discordant avec le silurien, forme le système de Maitai, qui flanque l'anticlinal principal de l'île Sud sur ses deux versants et se retrouve dans l'île Nord, soit de Wellington à East Cape, soit dans Auckland. Il comprend surtout des argilites, des schistes rouges ou noirs, des grès, exceptionnellement des calcaires, et est fréquemment métamorphisé par le granite, dont on trouve, d'autre part, des galets à la base du trias (**). On rattache à l'époque carbonifère de nombreux dykes de syénite, diorite, serpentine, des cendres de greenstone, etc. Le carbonifère comprend, comme

(*) Hutton, *loc. cit.*, p. 200 (cf Ramond, p. 146).

(**) Hutton, p, 215. L'âge du granite serait donc, en Nouvelle-Zélande, de la fin du carbonifère : ce qui s'éloigne peu de l'âge de certains granites de Bretagne du carbonifère inférieur.

nous le verrons, dans la province d'Auckland et près de Wellington, de remarquables lits de minerai de manganèse.

Séparé du carbonifère par le système mézozoïque d'Hokanui, comprenant le trias et le jurassique inférieur, le *crétacé supérieur* forme le système de Waipara, à la base duquel sont la plupart des houilles. On connaît des éruptions contemporaines de rhyolithes, dolérites, etc.

Le *système de Waipara* (crétacé supérieur) est assez développé dans les deux îles. Il comprend : dans Otago, les houilles de Shag Point au nord de Dunedin, et celles du Mont Hamilton entre les rivières Waiau et Jacobs ; dans la province de Nelson, les houilles de Pakawau et les charbons bitumineux de Buller et Greymouth. Dans l'île Nord, on le retrouve dans le district de Waiapu, où il existe des sources d'huile minérale.

Ce système est absolument discordant sur le jurassique. Tandis que les couches charbonneuses du Mont-Hamilton reposent sur le jurassique, celles de Shag Point et de Buller sont en contact avec le carbonifère et celles de Pakawau avec le silurien. On y trouve des restes de sauriens marins et des empreintes végétales, dont M. Zeiller a reconnu récemment l'équivalent aux Portes de Fer, près Nouméa, en Nouvelle-Calédonie (*).

Le *système d'Oamaru* (oligocène) existe en plusieurs points au nord de l'île Nord (Auckland) et sur la côte ouest de cette île entre Port-Waikato et Mokau. On y exploite du lignite, notamment près de la baie d'Islands, où les couches charbonneuses sont intercalées en concordance sous des grès marins, et à Drury et Waikato, où les couches, situées à la base du système, en discordance avec le reste, paraissent néanmoins lui appartenir.

(*) *Bull. Soc. géol. de France*, XVII, p. 443, et *Ann. géol. univ.*, 1889, t. VI, p. 1080.

Dans l'île du Sud, on rattache à ce système les lignites de Wanganui ouest, dans la province de Nelson et de la rivière Buller, ainsi que ceux de Night Cap Hills en Southland.

Le *système de Pareora* (miocène), discordant en quelques points d'Auckland sur celui d'Oamaru, renferme les lignites de Pomahaka.

Enfin le *système de Wanganui* (pliocène inférieur) contient les lignites d'Otago, Manukau, etc. C'est également dans le pliocène que se trouvent les plus riches alluvions aurifères. Le pliocène ne présente de facies marins que dans l'île Nord.

Or. — Les exploitations d'or de Nouvelle-Zélande portent, soit sur des filons de quartz aurifère, soit sur des alluvions, dans les districts d'Otago, West'Coast, Nelson, Auckland, etc.

La découverte des alluvions aurifères date de 1852 (*). C'est en 1856 que l'on annonça officiellement la présence de l'or en Otago (Clutha, etc.) ; mais c'est seulement en 1861 que fut installée la première exploitation méthodique. Après une véritable fièvre de l'or, il se produisit, à la fin de cette même année, la réaction habituelle. Dans les années suivantes, on trouva successivement les divers gîtes de la région. Au 31 juillet 1862, l'exportation d'or de l'Otago s'élevait à 458.448 onces. En 1862, on produisit 331.663 onces ; en 1863, 565.661 onces ; en 1864, 393.964 onces. Enfin jusqu'en 1873, l'exportation totale du district montait à 3 millions d'onces. En 1892, le district d'Otago a produit 80.124 onces.

Sur la côte ouest (West'Coast), les premières explorations ont été faites, de 1855 à 1860, par James Mackay.

(*) On en trouve l'historique dans le *Handbook of New Zealand mines*, 1887, p. 1.

En 1864, on commença à exploiter à la fois, l'or et le charbon de Nelson et l'année 1866 vit, dans la région de West'Coast, un développement de la production aurifère qui ne s'est pas reproduit depuis. La production aurifère a été, en effet :

1864	1865	1866	1867	1868	1869	1870	1871	1872	1873	1892
1.463 onces	289.897	552.572	511.974	405.762	317.169	280.068	232.882	172.574	188.501	101.636

Enfin, à Auckland, les explorations commencèrent en 1852 ; en 1857, on découvrit le champ aurifère de Collingwood (Nelson) ; en 1862, celui de Coromandel.

La production d'or qui était, en 1889-90, pour toute la Nouvelle-Zélande, de 6.274 kilos (201.760 onces), a été, en 1892, de 7.830 kilogrammes (238.079 onces), valant 23.868.000 francs.

A cette production, les diverses régions ont, du 31 mars 1892 au 31 mars 1893 (année financière), contribué dans la proportion suivante :

Ile Sud.	Côte ouest (West'Coast)	44,45 p. 100.	(101.636 onces)
	Otago	35,01 —	(80.124 —)
	Marlborough	2,50 —	(3.055 —)
	Nelson		(2.792 —)
Ile Nord.	Auckland	17,95 —	(41.052 —)

c'est-à-dire qu'environ moitié de la production vient de la côte occidentale de l'île Sud.

Cette exploitation a occupé, en 1892, 12.197 hommes contre 12.724 en 1891. La production par mineur et par an a été, en 1892, de 1.880 francs contre 2.015 francs en 1891. Le 31 mars 1891, on a aboli, dans l'île du Sud, le droit qui existait sur l'exportation de l'or. En 1892, l'industrie de l'or en Nouvelle-Zélande a payé néanmoins à l'État 400.000 francs d'impôts.

Cette production d'or se décompose comme suit entre les principaux districts des régions susnommées :

	ANNÉE finissant au 31 mars 1893	ANNÉE finissant au 31 mars 1892	TOTAL de 1857 à 1893	NOMBRE DE MINEURS sur les filons	NOMBRE DE MINEURS sur les alluvions
Côte Ouest (West Coast).	onces	onces	onces		
Comté de Westland (*)	30.813	29.413		6	1.400 environ
— d'Inangahua (Nelson) (**)	24.662	38.201		320	320 —
— de Grey	24.545	25.775			500 environ
— de Buller (Westport)	15.832	14.148		»	245
Total	101.636	118.158	5.333.135	326	2.445
Otago.					
Comté de Tuapeka (***)	21.681	29.557		15	752
— de Vincent (Bassin de la Clutha)	16.125	22.689		430	3.894
— de Lake (Bassin de la Clutha)	14.977	19.491			
— de Maniototo (Bassin de la Clutha)	10.779	12.276			
Total	80.124	105.531	4.969.687	445	4.646
Auckland.					
Comté et bourg de Thames	19.880	23.867		676	»
Comté de Ohinemuri	14.017	7.331		420	»
— de Coromandel	6.647	8.422		287	11
Total	41.052	40.525	1.737.525	2.295	9.902

(*) Alluvions de Kumara, Kanieri, Ross, etc.
(**) Filons de Reefton ; Alluvions de Matakitaki, Marnia, Blackwater, Antonio's.
(***) Waitahuna, Waipori et portion de la Clutha.

En 1892, Marlborough a produit, en outre, 3.055 onces et Nelson (Collingwood), 2.792.

Filons de quartz aurifère. — La venue de l'or en Nouvelle-Zélande paraît, autant qu'on en peut juger, appartenir à deux ou trois époques : d'une part, on en rencontre en lentilles interstratifiées et en filons dans les micaschistes d'Otago, ce qui pourrait correspondre à une venue huronienne ; puis il en existe dans le silurien (système de Takaka) et le carbonifère inférieur (système de Maitai), c'est-à-dire qu'une partie de ce métal serait peut-être arrivée là pendant le carbonifère, à une époque que l'on sait avoir été caractérisée, dans ce pays, par de nombreuses venues éruptives : granite, syénite, diorite,

serpentine, etc. ; enfin on en trouve, avec quelques autres métaux, dans les andésites tertiaires de la Thames, province d'Auckland.

S'il n'était pas extrêmement hasardeux de tenter des rapprochements à aussi grande distance, on pourrait chercher, à la première venue, des équivalents en Norvège et au Canada ; la seconde serait assimilable à la venue calédonienne de Bömmelö (Norvège), du Merionetshire (pays de Galles), de Berezowsk (Oural), etc., qui présente fréquemment de l'or en relation avec des roches granitiques (on sait, d'ailleurs, qu'en Australie, d'innombrables filons aurifères, recoupant le silurien, ont fourni des galets au houiller) ; enfin la dernière venue, tertiaire, est bien connue dans toute la chaîne des Andes et la chaîne alp-himalayenne.

Comme observations pratiques sur ces filons, on admet, malgré de très nombreuses exceptions, que les principaux filons aurifères de Nouvelle-Zélande sont dirigés est-ouest avec pendage nord. Les parties riches occupent, dans le quartz, des zones irrégulières. On considère comme de bons signes la présence de pyrites de fer, de salbandes argileuses, etc. On a cru remarquer aussi que l'or se trouvait, de préférence, sur l'une des épontes, non dans toute la masse (*). On observe enfin, assez souvent, que des veines secondaires sont plus productives que le filon principal (main reef).

Beaucoup de ces filons, composés de quartz bleu avec pyrite de fer parfois cuprifère, un peu de marcassite, de cuivre gris et de blende, prennent, comme dans tous les pays, une allure différente, suivant qu'ils sont encaissés dans les grès ou dans les schistes, plus nets dans les grès, tendant à s'interstratifier et à s'éparpiller dans les

(*) *Handbook of New Zealand mines*, 1887, p. 360. (Recherche des filons de quartz aurifères.)

schistes. Leur puissance moyenne ne dépasse guère 2 mètres. On exploite surtout, jusqu'ici, la partie superficielle altérée où l'or natif s'est isolé par suite de la disparition de la pyrite. Voici d'ailleurs, pour préciser, quelques exemples de ces gisements filoniens :

Les filons aurifères les plus productifs se trouvent dans l'île du Nord (Auckland), autour de la baie d'Hauraki, dans les districts de Thames, Coromandel, et dans celui d'Ohinemuri.

Dans le *district de Coromandel*, la principale compagnie a été, quelque temps, celle de Kapanga, reconstituée en 1886, qui, de juillet 1886 à avril 1893, a broyé 7.700 tonnes de quartz contenant 14.959 onces d'or et qui, jusqu'ici, a été constamment en perte. En 1892, elle n'a broyé que 335 tonnes contenant 304 onces d'or (contre 1.634 dans l'année précédente). Les mines de Try Fluke, Red Mercury et Great Mercury (Kuaotunu), ont, en 1892, produit respectivement, 2.307, 2.304 et 2.186 onces; celle d'Owera, 1.921 onces.

A Try Fluke, on exploite deux filons, l'un de $0^{m},50$ à $0^{m},60$ de large, l'autre de 1 mètre à $1^{m},30$. En 1892, le rendement moyen a été de $15^{gr},6$ d'or à la tonne.

Nous donnons (Pl. IX, *fig.* 6) une coupe des gisements de Kuaotunu. Il y a là un bassin, dont les flancs sont formés par des collines de grès et grauwackes paléozoïques, tandis que le centre est occupé par des tufs d'andésite très décomposés, qui s'étendent au nord de Mercury Bay. Chacun de ces étages contient de l'or.

Comme exemple de filon récent dans la région, on peut citer le principal filon du district, celui de Try Fluke, qui a de $0^{m},70$ à 7 mètres de large (en moyenne 2 mètres), avec une direction N.-N.-E. comme les principaux accidents de l'île; il recoupe des tufs considérés comme oligocènes par assimilation avec ceux de Thames et de Coromandel, où l'on trouve également des veines aurifères.

Dans presque tous ces filons de Coromandel, les exploitations n'ayant porté jusqu'ici que sur les parties altérées situées au-dessus du niveau hydrostatique, le quartz est soit caverneux et teint de noir par des oxydes de manganèse, soit friable, bréchiforme (mullocky), et teint de brun par le peroxyde de fer. L'or est associé avec 30 p. 100 d'argent et à un état très divisé. Dès qu'on s'approfondit, le quartz, plus consistant, est associé avec des pyrites arsenicales qui rendent le traitement difficile.

Quand les filons s'enfoncent sous les tufs, dans les terrains paléozoïques, on a remarqué, à Tapu et à Coromandel, si ces terrains sont schisteux, que la veine s'appauvrissait et disparaissait même; dans les grès elle semble, au contraire, se maintenir.

Dans le *district de Thames* (Tamise), la production d'or est en décroissance. Les principales mines sont Moanataiari (10.070 onces, en 1892); Waiotahi (7.162); Kuranui (3.804).

A Moanataiari, on a broyé, en 1892, 20.000 tonnes de quartz et 6.300 tonnes de brèche pour obtenir 10.070 onces d'or; le rendement a été de 458 onces par mineur.

A Waiotahi, on a broyé 6.400 tonnes de quartz et 510 de brèche pour obtenir 7.162 onces d'or en occupant 125 hommes.

Dans le district d'*Ohinemuri*, les travaux se sont développés en 1892. La principale mine est Waihi, qui a broyé 18.279 tonnes tenant 9.998 onces d'or et 15.457 onces d'argent. Celle de Karangahaki a fait de grandes installations.

On exploite, en outre, quelques filons dans l'île du Sud, en premier lieu à Reefton (Inangahua), province de *West-Coast* où l'on a broyé, en 1892, 38.300 tonnes de quartz pour avoir 20.171 onces d'or, et dans la province d'*Otago*, notamment à Skippers et Macetown. En général ces exploitations de filons d'Otago sont accessoires, toute

l'attention étant absorbée par le lavage des alluvions. Néanmoins la description détaillée qui en a été faite par M. Ulrich (*), leur prête un intérêt géologique tout spécial. Aussi nous y arrêtons-nous un moment.

Presque tous ces filons d'or d'Otago sont compris dans les micaschistes et les phyllades, sans qu'il y ait, au voisinage, aucune roche intrusive, telle que le granite, habituel auprès des gisements d'or de Victoria. Ces micaschistes renferment de nombreuses lentilles de quartz interstratifiées, ayant en général 2 à 3 centimètres d'épaisseur, parfois plus, contenant à l'occasion un peu d'or et qu'on a souvent prises pour des filons. Ces lentilles, sauf en un point, se sont toujours montrées inexploitables ; mais il est probable qu'elles ont contribué à enrichir les alluvions.

Les filons proprement dits ont été divisés par M. Ulrich en 5 groupes :

1. — Green Island, près Dunedin — Tokomairiro — Gabriels Gully reef, près Lawrence.

2. — Bendigo, près Cromwell — Conroy's Gully reef près Alexandra.

3. — Carrick Range.

4. — Arrow et Skippers Creek.

5. — Macrae's Flat et Shag Valley.

1 et 2. — Vrais filons croisant les phyllites, analogues aux « block reefs » de Victoria, formés de blocs de quartz alternant avec des brèches (mullock). L'or se trouve dans les deux, mais surtout dans le quartz, qui est, tantôt opaque et ferrugineux, tantôt bleu, vitreux et pénétré de pyrites. Les filons de New Bendigo sont parmi les plus productifs de la région. Beaucoup présentent des épontes nettes avec salbandes, sont très

(*) Hutton et Ulrich : *Geology and goldfields of Otago*. Dunedin, 1875. 1 vol. in-8° de 244 p.

continus et recoupent verticalement, sur de grandes longueurs, des micaschistes presque horizontaux.

3. — Filons argileux et ferrugineux de quartz et brèche si décomposés qu'on peut les travailler au pic. Épaisseur de $0^m,30$ à 2 mètres. Direction quelconque. Ces filons sont encaissés dans des phyllites qui paraissent avoir subi une dislocation violente accompagnée de la venue de porphyres.

4. — Filons dans les micaschistes, remplis d'une brèche de roches encaissantes, cimentée par des veinules de quartz. Les failles et dislocations sont nombreuses. La moyenne en or, dans les travaux, est de 15 à 23 grammes à la tonne. En 1892, la Compagnie Phœnix, à Skippers, a broyé 5.540 tonnes de quartz contenant 1.920 onces d'or, plus du tiers de la production totale des filons d'Otago.

5. — Filons couches et interstratifications d'épaisseur très variable, composés de quartz et brèche, tous abandonnés.

En dehors de ces types, M. Ulrich a étudié, à Portobello, un cas tout à fait spécial d'imprégnations aurifères dans des roches tertiaires. Il existe là une montagne formée, dans sa partie supérieure, de trachytes, brèches, tufs et cinérites recoupés par des dykes de basalte, tandis qu'à sa base se trouvent des grès d'âge indéterminé. On trouve, dans le trachyte, des concrétions siliceuses irrégulières avec pyrite aurifère et, ce semble, dans la masse même de la roche, une certaine proportion d'or disséminée : ce qui rapprocherait ce gîte de ceux de la Thames (Auckland) et de ceux de Transylvanie ou des montagnes Rocheuses. La roche aurifère serait un « trachyte greenstone » (*) analogue aux greenstones dioritiques qui, dans la province de Victoria, traversent le silurien supérieur.

(*) Ulrich, *loc. cit.*, p. 167.

La production totale des filons du district d'Otago a été, en 1892, de 5.263 onces. On estime qu'elle doit augmenter.

Alluvions aurifères. — Les alluvions aurifères continuent à fournir environ les deux tiers de la production zéerlandaise et cela d'autant plus que, dans ce pays montagneux, on est admirablement placé pour recueillir les eaux et appliquer les méthodes hydrauliques : si bien que, l'établissement fait, on prétend arriver à payer les dépenses d'exploitation avec 0gr,13 au mètre cube (1 grain 1/2 au yart cube). — Une très faible proportion de l'or d'alluvions est extraite par puits et tunnels : presque tout par sluices ou dragages.

Les alluvions modernes des vallées à faible pente (shallow placers) ayant été rapidement épuisées, ce sont aujourd'hui les alluvions anciennes qu'on attaque par la méthode hydraulique ; de ce côté, l'extension des travaux n'est limitée que par la quantité d'eau dont on dispose (élément capital pour l'établissement d'un atelier aurifère) et par la nécessité de mettre en jeu de gros capitaux sans obtenir immédiatement d'interêts. On commence à utiliser certaines chutes d'eau des hautes montagnes pour transmettre de la force électriquement en des points bas d'où l'on remonte par des pompes, jusqu'aux chantiers, de l'eau, nécessaire au lavage.

Ces formations aurifères sont souvent des dépôts glaciaires qui remontent parfois, paraît-il, jusqu'à l'époque éocène (*).

Sur la CÔTE OUEST, les districts exploités sont ceux de Westland, Inangahua, Grey et Buller.

Le *district de Westland* contient les plus grands dépôts

(*) Hutton, (*loc. cit.*), p. 194, place, à la base du pliocène, les plus anciens dépôts glaciaires. Nous donnerons plus loin les raisons sur lesquelles s'appuie l'hypothèse contraire.

aurifères de la côte ouest. Sur 150 kilomètres de long, au sud de la rivière Teremakau, toutes les plages de sable sont aurifères ; quelques-unes le sont assez (Saltwater, Three-mile, Five-mile), pour que, malgré une exploitation de vingt-sept années, des laveurs d'or puissent encore y gagner leur vie ; les alluvions des rivières renferment également de l'or ; en les remontant, on arrive aux centres aurifères de Kumara, Waimea, Kanieri et Ross.

Le centre de Kumara, le plus important, occupe 600 mineurs et a produit, en 1892, 11.530 onces d'or et, depuis sa découverte, en seize ans, 30 millions de francs sur 240 hectares de superficie (soit 125.000 fr. par hectare). Les exploitations n'ont pas porté jusqu'à présent sur les alluvions de la base, celles qu'on appelle, comme en Californie, le *blue bottom* et qu'un puits a seulement atteint, sans les reconnaître, en 1892 : on n'a épuisé qu'un niveau supérieur (*false bottom*).

Hokitika et Kanieri occupent 490 mineurs ; Ross, 169.

Dans le *district d'Inangahua* (Nelson), on n'exploite que peu d'alluvions à Matakitaki, Maruia, Antonio's, etc.

Le *district de Grey*, qui a produit, en 1892, 24.545 onces d'or, comprend deux centres d'exploitation importants, l'un parallèle à la Riv. Grey (qui se jette à Greymouth) au nord d'Hokitika, vers Waipuna, l'autre au nord de la Grey comprenant Slaty River, Moonlight, Blackball, etc. C'est une région où l'on exploite également la houille, et il arrive que des alluvions aurifères se présentent au-dessus des couches de houille.

Quant au district de *Buller* ou *Westport* (15.832 onces en 1892), il a pour principaux centres, Charleston et Addison's Flat.

Dans la PROVINCE D'OTAGO, la production est en décroissance et n'a été, en 1892-1893, que de 80.124 onces contre 101.636 pour la côte ouest. Cela tient aux grandes

difficultés qu'on a pour se procurer de l'eau dans des régions hautes, formées de schistes quartzeux généralement dénudés et aux distances considérables qu'ont généralement à franchir, depuis la côte, les substances dont on a besoin. Par contre, la nudité du sol rend les reconnaissances très faciles. Les districts exploités sont ceux de Tuapeka et du bassin de la Clutha.

Le *comté de Tuapeka* (21.681 onces en 1892) n'a plus qu'une exploitation importante, celle de Blue Spur, à 3 kilomètres est de Lawrence (2.130 onces en 1892). Toutes les anciennes fouilles (Tuapeka, Gabriel's, Weatherstone's, Munro's Gullies) ont été abandonnées.

Les travaux à Blue Spur (*) portent presque uniquement sur un conglomérat (cement) qui occupe, au-dessus du bedrock formé de schistes quartzeux ordoviciens (série de Wanaka) parfaitement polis à la surface, une dépression, due peut-être à un éboulement suivant une faille. Le conglomérat lui-même paraît résulter d'un apport glaciaire venant de Waikaia et est formé de noyaux de quartz, de débris anguleux de roches cimentés par une pâte où entrent surtout des débris de schistes broyés; on y remarque une stratification mise en évidence par des lits ferrugineux rougeâtres. L'ensemble présente une teinte bleue ou verdâtre qui a fait donner son nom à la mine. Le gisement, qui est exploité par une compagnie anglaise, est peut-être le mieux connu géologiquement de Nouvelle-Zélande et il est, en outre, fort intéressant par son âge ancien.

En plan, le gîte a une forme grossièrement ovale (*fig.* 4). On a évalué son cube à 7 ou 8 millions de mètres cubes, sa surface a $1^{hect},80$. Le conglomérat, qui a été conservé dans cette dépression, a, plus au nord, été enlevé par

(*) Voir Pl. IX, *fig.* 3, 4, 5. Cf. *Mines statement*, 1893, p. 9 et 107 avec planches, et Rickard : On the gold fields of Otago. (*Am. Institute of mining Engineers* à Plattsburgh. Juin 1892.)

l'érosion, plus au sud, été recouvert par des dépôts récents. L'âge de ce dépôt peut être évalué par celui des ravins qui le traversent et qui sont les sources du ruisseau ayant apporté à la Clutha des alluvions glaciaires du pliocène inférieur. Parmi les dépôts, sous lesquels on admet qu'il se prolonge, il en est, d'ailleurs, qui renferment des lignites de la formation d'Oamaru (éocène ou crétacé supérieur). Ce serait donc une des plus anciennes alluvions (ou plutôt dépôts glaciaires) aurifères que l'on connaisse. Quant à l'or lui-même, il paraît provenir, comme le conglomérat même, des filons quatzeux du silurien, et il n'est pas nécessaire pour expliquer sa présence de rappeler, comme on l'a fait, l'existence de venues aurifères éocènes.

Enfin, le haut *bassin de la Clutha* (Otago) est, jusqu'aux confluents des rivières Pomahaka et Waitahuna, une des régions aurifères les plus anciennement célèbres de Nouvelle-Zélande. On trouve de l'or dans la plupart des affluents de ce fleuve au sortir de la zone de lacs si caractéristique, qui a fait comparer l'est de la Nouvelle-Zélande à la Suède, comme l'ouest à la Norvège (lacs Wakatipu, Wanaka, etc.). La vallée de la Clutha a été assimilée à un grand sluice naturel, où, depuis des temps très anciens, se serait précipité l'or emprunté aux filons de la chaîne montagneuse. On a pu exploiter, non seulement ses alluvions actuelles, mais, comme en Californie, certaines terrasses d'alluvions anciennes situées à un niveau assez élevé. La quantité d'or n'est pas, en général, très forte; mais, lorsque l'eau peut être recueillie sans frais considérables, elle suffit presque toujours à payer. Dans bien des cas où la pente n'était pas suffisante pour établir des sluices, on a employé des élévateurs hydrauliques.

Parmi les compagnies (*), nous citerons : Island Block Cy,

(*) Voir *Mines statment*, 1893, p. 112 et 131, la description de ces compagnies.

Hercules C^{y}, Roxburgh, Amalgamated, Bald Hill, Mount Buster, Mount Ida, Blackstone Hill, S^{t} Bathan's, etc.

Le tableau ci-joint résume certaines données économiques relatives aux exploitations aurifères de quelques districts :

	VALEUR de l'or (*) à l'once	FRAIS de broyage par tonne de quartz	PRIX de l'eau par sluice et par semaine	SALAIRE des ingénieurs par semaine	SALAIRE des mineurs par semaine	SALAIRE des Chinois par semaine
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Auckland. — Hauraki Nord.	69,00	14,10	75,00	87,00	60,00	»
Westland. — Greymouth . .	97,50	»	43,00	100,00 à 125,00	65,00 à 75,00	25,00 à 30,00
Otago. — Tuapeka	96,30	19,00	30,00 (pour 8 heures)	75,00	52,50	19,00 à 25,00

(*) Cet or n'est pas pur, mais contient, notamment, une proportion sensible d'argent, etc.

Voici quelques exemples de composition de l'or en Nouvelle-Zélande (*) :

LOCALITÉS	OR	ARGENT	PERTE et cuivre
1. Coromandel, Auckland.	75,00	24,50	0,50
2. Id.	54,60	45,00	0,40
3. Rimutaka, Wellington.	69,50	30,50	»
4. Id.	81,04	18,75	0,21
5. Terawhiti, Wellington.	90,39	9,49	0,12
6. Id.	89,92	9,96	0,12
7. Makara, Wellington.	73,65	26,24	0,15
8. Lyell, Nelson.	93,87	6,02	0,11
9. Wangapeka, Nelson.	94,38	5,60	0,02
10. Longwood, Southland	85,66	14,34	»

Charbon (**). — Le tableau suivant montre les progrès de l'industrie houillère en Nouvelle-Zélande :

(*) *Handbook of the New Zealand mines*, 1887, p. 355.

(**) Bibliographie de la houille de la Nouvelle-Zélande dans le *Handbook of New Zealand mines*, 1887, 2^{e} partie, p. 3.

	PRODUCTION de houille (en tonnes métriques)	IMPORTATION	EXPORTATION
1878	165.000	177.000	7.000
1880	304.000	125.800	7.100
1882	384.600	131.700	4.300
1884	488.000	160.300	6.700
1885	517.500	133.500	50.800
1892	684.700	127.000	86.000

On le voit, les mines de charbon de la Nouvelle-Zélande se développent rapidement, à mesure que l'industrie générale du pays augmente; il est remarquable, cependant, que la Nouvelle-Zélande consomme actuellement plus de charbon qu'elle n'en produit; cela tient à ce que l'île a, comme on sait, son réseau de chemins de fer et ses grandes manufactures, où elle fabrique elle-même navires, locomotives, wagons, etc. A l'exportation, les charbons de Nouvelle-Zélande ont à lutter, comme c'est le cas pour tous les charbonnages d'extrême Orient, contre l'accroissement rapide de la production de la houille japonaise; cette industrie redoute également, en raison du bas prix de la main-d'œuvre en Chine, la mise en exploitation des riches gisements de ce pays (*).

En 1892, la Nouvelle-Zélande a produit 684.700 tonnes et importé d'Australie 127.500, contre une exportation de 86.000 tonnes, dans laquelle 57.000 ont servi à chauffer les navires partant de la colonie : ce qui permet d'évaluer la consommation à 793.000 tonnes, chiffre à peu de chose près égal à celui de l'année précédente.

La production se décompose comme suit :

(*) *Handbook* de 1887, 2^{e} partie, p. 1. Nous devons la communication de cet ouvrage à M. G. Ramond, qui a eu l'obligeance de mettre à notre disposition un grand nombre de documents.

Charbon bitumineux	413.500 tonnes.
Charbon résineux (pitch coal).	91.200 —
Charbon brun (brown coal).	152.000 —
Lignite.	28.000 —
	684.700 tonnes.

Les mines de houille ont employé, en 1892, 1.681 hommes contre 1.693 en 1891. La production de houille se décompose comme suit, entre les principaux districts :

DISTRICTS.	1892 Tonnes métriques	1891 Tonnes métriques	TOTAL depuis l'origine
Westport.	212.000	210.000	1.423.000
Otago	160.000	167.000	2.412.000
Greymouth	181.000	148.000	1.728.008
Waikato.	59.000	57.000	665.000
Southland.	23.000	25.000	220.000
Kawakawa	19.000	29.000	798.000
Total	684.000	679.000	7.915.000

La valeur du charbon que l'on trouve en Nouvelle-Zélande est très variable (*) : à côté de houille excellente, on trouve, en grande quantité, des houilles inférieures, charbons hydratés (équivalent de nos lignites), que l'on divise en lignites, charbons bruns à 10 ou 20 p. 100 d'eau (brown coal), charbons résineux (pitch coal) et charbons bitumineux.

Les lignites de Nouvelle-Zélande forment, en général, des couches minces et régulières, intercalées au milieu de schistes, grès, etc., et ayant, avec les terrains encaissants, subi de fortes dislocations.

En gros, on peut dire que les charbons anhydres se trouvent surtout à l'ouest de la grande chaîne alpestre

(*) Il peut y avoir quelque intérêt pour nous à connaître les ressources houillères de la Nouvelle-Zélande au moment où nos houilles du Tonkin commencent à se faire une place sur le marché de l'Extrême-Orient.

et ont un pendage ouest, tandis que les charbons hydratés sont à l'est.

Ces charbons hydratés sont ordinairement durs et brillants; ils renferment souvent une certaine quantité de substance résineuse qui facilite leur combustion. On leur reproche une trop faible densité et une tendance à se casser en menus fragments sous l'influence de la dessiccation à l'air. Cette dessiccation n'est, d'ailleurs, que partielle et il faut une température élevée pour volatiliser les 12 à 20 p. 100 d'eau restants : ce qui ne se fait pas naturellement sans absorber une forte proportion de la chaleur de combustion.

Dans l'île Nord, on admettait, en 1872, qu'il y avait 200 millions de tonnes de charbon hydraté, notamment dans la vallée de la Waikato.

Dans l'île Sud, on a évalué le cube de houille hydratée au nord de la Clutha à 140 millions de tonnes et celui du Mont de la Selle (Suddle-hill) près de Dunedin, à 74 millions.

Dans la région d'Otago, le Southland, etc., il y a de nombreux bassins locaux de charbons hydratés utilisés par les mines d'or.

Quant aux charbons anhydres, on les divise en anthracites (glance-coal) demi-bitumineux et bitumineux. Leurs gisements sont relativement limités et l'on a attribué leur déshydratation à l'arrivée de roches volcaniques au milieu des terrains sédimentaires (?)

Il convient de remarquer que, comme combustibles d'appareils à vapeur, les charbons anhydres présentent l'inconvénient d'être très compacts et de ne pas se diviser au fur et à mesure de leur combustion. Ils ont, par contre, l'avantage d'être, en général, exempts de matières étrangères et de laisser un faible volume de cendres.

C'est surtout sur la côte occidentale de l'île Sud, au

nord de la rivière Grey, qu'on les exploite. Il y a là des couches d'une épaisseur moyenne de plus de 5 mètres, d'une inclinaison de 10 à 30°, s'élevant à des altitudes de plusieurs centaines de mètres. Dans l'exploitation de Brunner, le charbon est particulièrement propre à la fabrication du gaz et du coke (*). Une formation du même genre, renfermant également des charbons anhydres, se retrouve dans l'île Nord, au nord d'Auckland.

On a évalué à 4 milliards de tonnes le cube des charbons anhydres reconnus.

Voici quelques renseignements sur les principales mines de houille :

District de Westport (dans l'île du Sud, province de Nelson, sur la côte Ouest). — Mine de Coalbrookdale, exploitée depuis 1878; 2 couches de charbon bitumineux crétacé de 1m,30 à 6m,50 d'épaisseur; 4 puits de 36 mètres de profondeur. Extraction en 1892 : 201.000 tonnes (depuis l'origine : 1.294.000 tonnes); 317 ouvriers. Cette mine produit, on le voit, environ le tiers de la houille extraite en Nouvelle-Zélande.

District d'Otago (au sud de l'île du Sud). — Mine de Kaitangata, exploitée depuis 1876; 1 couche de charbon résineux (pitch coal) oligocène de 10 mètres; 1 puits de 98 mètres. Extraction en 1892 : 52.000 tonnes (depuis l'origine, 691.000); 166 ouvriers.

District de Greymouth (dans l'île du Sud, côte Ouest, limite des provinces de Nelson et Westland, au sud de Westport). — Mine de Coalpit Heath, exploitée depuis 1876; 1 couche de charbon bitumineux crétacé de 4 mètres; 2 puits de 93 et 25 mètres de profondeur. Extraction en 1892 : 99.000 tonnes (depuis l'origine, 538.000 tonnes); 200 ouvriers.

Mine de Brunner, exploitée depuis 1864; 1 couche de

(*) Voir, 1866, J. Hector : *Coal deposits of New Zealand.*

charbon bitumineux crétacé de 2m,50 à 3m,30, exploitée par galerie. Extraction en 1892 : 81.000 tonnes (depuis l'origine, 959.000 tonnes); 165 ouvriers. La ville de Greymouth, centre et port d'embarquement de ces mines, est considérée comme la Newcastle néo-zélandaise.

Dans le district de *Waikato* (à l'ouest de l'île du Nord, Auckland), les principales mines sont celles de Taupiri (Extended, Reserve et Ralph's Taupiri) ayant, à elles trois, produit 50.400 tonnes de lignite oligocène en 1892.

Dans le *Southland* (sud de l'île du Sud), les principales mines sont celles de Nightcaps (6.400 tonnes) dans l'oligocène.

Voici quelques analyses de charbons de Nouvelle-Zélande :

	CHARBON résineux (Pitch coal) de Ngunguru (*)	CHARBON bitumineux supérieur	CHARBON bitumineux d'Hikurangi (**)	CHARBON de Whangarei (***)
Carbone fixe	52,35	67,20	49,62	60,00
Hydrocarbure	36,50	23,18	43,54	35,00
Eau	7,35	5,42	5,12	4,00
Cendres	3,50	2,20	1,72	1,00
Soufre	»	traces	»	»
	99,70	100,00	100,00	100,00
Pouvoir d'évaporation (en kilog. de vapeur par kilog. de charbon)	6,86	8,73	6,45	8,00
Poids spécifique	»	»	1.297	»

(*) Charbon brillant supérieur à la moyenne des pitch coals, ne pouvant donner de coke.
(**) Charbon supérieur à la moyenne d'Hikurangi, donnant du coke. — Poids spécifique, 1.297.
(***) District d Auckland, découvert en 1892.

Minerais métallifères. — Pendant longtemps l'attention des mineurs de Nouvelle-Zélande a été absorbée par les gisements aurifères; mais, en même temps que ceux-ci donnent des résultats moindres et que l'in-

dustrie générale du pays se développe, on commence à s'occuper un peu des autres minerais.

Cuivre. — On connaît des schistes cuprifères dans les collines de la rivière Arahura, un important filon cuprifère dans le nord d'Auckland. Des exploitations de cuivre ont existé à Kawau, Great Barrier, îles d'Urville; à Dun Montain, Aniseed Valley et Roding River, dans le district de Nelson; à Whakatipu et Waitehuna, dans celui d'Otago. Aucune de ces exploitations n'a donné de bons résultats.

Dans la région Nord de Westland, explorée par M. Mackay en 1892, ce géologue a reconnu la présence de quantités de cuivre pouvant atteindre 8 à 10 p. 100 dans des roches à olivine et des serpentines intercalées au milieu des schistes paléozoïques (*). Ce sont des conditions de gisement dont on connaît nombre d'autres exemples, en Toscane, etc. On peut rapprocher de ce fait l'existence, sur la côte Ouest de l'île Sud (Bigbay) d'un alliage naturel de fer et nickel, l'awaruite, de nickel et de chromite dans des roches à olivine (**).

Mercure. — On connaît du cinabre à Waipori (district d'Otago) et en divers points du district d'Auckland, notamment à Ohaeawai, où on a signalé une certaine abondance de mercure métallique dans un sédiment noirâtre, au fond du bassin d'une source thermale. C'est en Auckland, près du lac d'Omapere (baie d'Islands) que Hutton, en 1870, découvrit du cinabre et du métacinabre en relation avec des sources chaudes (***).

Manganèse. — Les exploitations de manganèse de la

(*) *Mines statement*, 1893, p. 151.
(**) Ulrich, in Ramond, *Ann. géol.*, 1890, p. 805.
(***) *Gîtes minéraux et métallifères*, II, p. 727.

Nouvelle-Zélande sont, depuis longtemps, stationnaires; on cite celles des îles Waiheke, dans le golfe d'Hauraki (Auckland). Le carbonifère de l'île Nord comprend, en divers points de la province d'Auckland et près de Wellington, des lits de minerai de manganèse, ordinairement associés avec des schistes rouges jaspoïdes, lits qui ont été parfois décrits comme formés d'une roche intrusive, mais qui semblent plutôt à M. Hutton contemporains du dépôt et comparables aux dépôts actuels maganésifères des grandes profondeurs. D'après les descriptions, il y aurait quelque analogie entre ces gîtes et les couches de carbonate de manganèse intercalées dans le cambrien du Merionetshire anglais.

Antimoine. — Trois compagnies exploitent l'antimoine : à Waipori et Barewood (Otago) et dans l'île d'Endeavour; cette dernière est la seule de quelque importance, les deux autres gisements étant trop irréguliers et trop éloignés de la mer.

Chrome. — Le fer chromé se trouve dans les dunites, associé à de l'olivine et a été exploité dans la province de Nelson, de 1853 à 1886. Dans cet intervalle, on a exporté 5.400 tonnes.

Platine. — Von Hochstetter a signalé, à titre purement minéralogique, l'existence du platine et de l'osmiure d'iridium avec du fer chromé dans les alluvions de la rivière Tayaka, à proximité des dunites de la chaîne des Duns (*).

Étain. — Des échantillons de cassitérite existent dans des terrains paléozoïques de l'île Stewart qui sont

(*) *Gîtes minéraux et métallifères*, II, p. 100. — Les dunites sont formées d'olivine et fer chromé.

immédiatement recouverts par des terrains récents, sans aucune trace de couches intermédiaires. M. Mackay a signalé, au voisinage, la présence de béryl, spathfluor et tourmaline (*).

Néphrite. — Dans les montagnes de l'île Méridionale, il existe des gisements de néphrite que les Maori exploitaient autrefois pour en faire des ornements et qui avaient fait donner à cette île le nom indigène de Tevahi Panamu, habituellement traduit par Ile du Jade. Ces gisements sont disséminés du cap Foulwind à la pointe Cascade.

Schéelite. — Des gisements de schéelite importants se trouvent dans la province la plus méridionale de l'île du Sud (Otago), notamment à l'extrémité du lac Wakatipu, sur la partie haute du bassin de la Clutha, depuis longtemps connue pour ses mines d'or, et à Waipori, Mc Crae's, Hyde.

En 1892, on a fait un commencement d'exploitation et des marchés ont été conclus, paraît-il, pour fournir 200 tonnes à Londres au prix de 15 à 16 francs par unité d'acide tungstique pour un minerai contenant 55 à 60 p. 100 de cet acide.

De Hochstetter signale enfin, sur le rivage Ouest de l'île Nord, entre Auckland et Plymouth, un sable contenant de la magnétite et du titane.

Huile minérale. — Depuis 1866, on a reconnu la présence du pétrole en trois points :

1° Sugarloaves (district de Taranaki); huile très lourde et impropre à l'éclairage. Suintements dans une brèche trachytique. Des sondages profonds n'ont pas rencontré de nappe importante.

(*) *Ann. géol.*, 1891, p. 587.

2° Waiapu, Poverty Bay, sur la côte Est du district d'Auckland. Huile à paraffine analogue à celle du Canada, donnant, après trois distillations, 65 p. 100 d'huile d'éclairage de poids spécifique 843. Gisements dans le crétacé.

3° Manutahi, Waiapu, East Cape. Huile brun pâle, très transparente, contenant peu de paraffine. On trouve, en outre, des schistes bitumineux, dans la partie supérieure des dépôts houillers (*).

Sources chaudes (**). — Dans l'île du Sud, on ne connaît que deux sources chaudes, l'une dans les plaines d'Hanmer (comté Amury), l'autre près du lac Sumner, à 50 kilomètres sud-ouest de la première (limite sud de la province de Nelson). Mais, dans l'île Nord, elles sont, au contraire, fort nombreuses et tout spécialement sur l'axe de fracture (***) marqué par les volcans encore fumants de Tongariro, du Tarawera et de Whakari, les lacs de Taupo, Rotorua, Tarawera, etc., région célèbre pour ses merveilles naturelles, ses geysers, solfatares, volcans de boue, etc... A l'est de cette ligne, on en cite une sur le Waiapu, près d'East Cape, plusieurs sur le cours de la Thames qui se jette dans le golfe d'Hauraki et une près de la baie d'Islands à Mahurangi.

Cette région fameuse du lac Taupo a été assimilée à un ancien golfe, en partie comblé et isolé de la mer par l'entassement progressif des déjections volcaniques (****).

(*) *Handbook of New Zealand mines*, 1887, p. 352.

(**) Voir, Sur ces sources : de Hochstetter, *passim* — R. Abbay (*Quart. Journ. geol. soc.*, XXXIV, p. 170) — Skey (*Trans. N. Z. Inst.*, X, p. 243); — Hector (*Handbook of New Zealand*, 1883). Voir encore Reclus, XIV, p. 834.

(***) Cet axe de fracture bien connu est, comme l'a remarqué Dana, parallèle à nombre de grands accidents terrestres, notamment les Alleghany, les monts Scandinaves, la côte orientale d'Asie, etc., et perpendiculaire sur le grand axe du Pacifique.

(****) Ramond. *loc. cit.*, p. 69.

D'après Hochstetter (*), qui écrivait avant que l'éruption du Rotorua, en juin 1886, eût complètement bouleversé la contrée, les sources chaudes se trouvent sur trois lignes parallèles N. 36° O. dont la principale relie les volcans de Tongariro et de Whakari : c'est sur celle-ci que se trouvent les sources au sud et au nord du lac Taupo, celles du mont Kakaramea et du Rotomahana. La seconde ligne est marquée par la fracture thermale du Pairoa et par les sources de Orakeikorako ; la troisième par les sources de Rotorua et Rotoiti, etc.

Au point de vue des phénomènes mécaniques comme des réactions chimiques, les sources chaudes de Nouvelle-Zélande présentent une remarquable analogie, depuis longtemps signalée, avec celles d'Islande.

Dans les deux cas, on peut distinguer les sources intermittentes ou geysériennes et les sources permanentes, les sources acides et les sources alcalines.

On doit admettre que toutes ces sources sont dues aux infiltrations superficielles qui, vaporisées en profondeur, remontent mélangées aux fumerolles émanant des roches volcaniques encore chaudes, dissolvent à cet état les éléments des roches traversées et se condensent en approchant de la surface.

A haute température, on a des eaux chargées d'acides sulfureux et sulfurique, eaux acides qui produisent des sulfates de chaux et de fer, de l'alun, etc., en laissant un résidu argileux caractéristique des solfatares. A cet acide sulfurique s'allie de l'hydrogène sulfuré, d'où résulte un dépôt de soufre. Puis, à mesure que les phénomènes perdent de leur intensité, l'acidité diminue, on n'a plus que de l'hydrogène sulfuré et des silicates alcalins en dissolution qui, sous l'action des fumerolles acides saturant peu à peu les alcalis, précipitent leur silice.

(*) *Reise der fregate Novara*, p. 149.

Von Hochstetter a décrit un grand nombre de sources qui se présentent souvent comme des trous ronds de 2 à 3 mètres de diamètre, où bout une eau plus ou moins claire, lançant parfois des jets de boue. Il n'y a cependant pas de volcans de boue proprement dits analogues à ceux décrits par Abich, au Caucase (*).

Voici l'analyse de quelques eaux :

	SOURCE de la région du Taupo à 98°c	SOURCES DU ROTOMAHANA		
		à 84°	à 98°	à 16°
SiO^2	0,210	0,164	0,168	0,231
NaCl	4,263	2,504	1,992	1,192
	4,826	2,732	2,462	1,726

Comme point de comparaison, au grand geyser d'Islande, M. Damour a trouvé un résidu fixe de 1.225 milligrammes par litre, soit :

$SiO^2 = 0{,}319$; $NaOCO^2 = 0{,}2567$; $NaOSO^3 = 0{,}1312$; $KOSO^3 = 0{,}018$; $MgOSO^3 = 0{,}009$; $NaCl = 0{,}2379$; $NaS = 0{,}0088$; $CO^2 = 0{,}468$.

Voici enfin, l'analyse du dépôt d'une source sur la faille du Pairoa (**) :

SiO^2	CaO	MgO	$Fe^2O^3 + Al^2O^3$	SO^3	HO
85,26 à 97,08	0,84	0,28	4,10	0.57	8,71

(*) Hochstetter, *loc. cit.*, p. 126.
(**) Hochstetter, *loc. cit.*, p. 133.

BIBLIOGRAPHIE.

1863. — Von Hochstetter. — *Neu-Seeland.* 1 vol. in-4°, de 556 p. (Stuttgard).

1863. — Von Hochstetter. — *Geol. topogr. Atlas von Neu-Seeland* (aus den wissensch. Public. der Novara-Expédition. (Gotha, Justius Perthes). Contient une carte des gites miniers, pl. I.

1864. — Von Hochstetter. — *Reise der Österreichischen Fregate Novara in den Jahren.* 1857-58-59. — *Geologisher Theil.* Geologie von Neu-Seelaud. Beiträge zur Geologie der Provinzen Auckland und Nelson. 1 vol in-4° de 274 p.

1866. — Hector. — *Coal deposits of New-Zeeland.* (Geol. reports. 1866, p. 15.)

1873. — Hector. — *Geological Sketch map of New-Zealand.* Carte au $\frac{1}{2.000.000}$.

1875. — Hutton and Ulrich. — *Report on the Geology and Gold fields of Otago* (la Description des mines d'or, par Ulrich). 1 vol. in-8°, de 244 p.

1876. — Filhol. — Mission de l'île Campbell (*Comptes rendus*, 1876, LXXXIV, p. 202, et 1882, XCIV, p. 563).

1879. — Von Haast. — *Geology of the Provinces of Canterbury and Westland.* 1 vol. in-8° de 486 p.

1881. — James M. Kenow. — *Report on the Gold fields of New-Zealand.*

1883. — Ulrich. — Uber die Gold Vorkomm. in Neu-Seeland (*N. J. Min.*, II, p. 136. Stuttgard).

1883. — Hector. — *Handbook of New-Zealand* (*Wellington*) avec carte géologique.

1884. — Hutton. — *On the Origin of the Fauna and Flora of New-Zealand* (*Ann. mag. Nat. Hist.* 5e serie, XIII, p. 425. et XV, p. 77).

1885. — Hutton. — Sketch of the Geology of New-Zealand (*Quart. Journ. geol. Soc.*, XLI, p. 195).

1886. — Carte de la Nouvelle-Zélande, en 2 feuilles, avec indication des exploitations minières, publiée par le *New-Zealand Survey.*

1886. — Hector. — *Handbook of New-Zealand.*

1887. — *The Handbook of New-Zealand mines.* 1 vol. in-8°, de 500 p. Wellington.

1888. — Suess. — *Das Antlitz der Erde*, p. 181.

1891. — G. Ramond.— *La Nouvelle-Zélande*, (Feuille des jeunes naturalistes. 1er février au 1er mai).

Voir, en outre : Reports du Geol. survey et transactions of the New-Zealand Institute (travaux de Herbert Cox, v. Haast, Hutton, etc.). *Rapports officiels annuels* (*the Mines statement*) publiés à Wellington.

NOTE

SUR

LES IMPOTS DES MINES EN PRUSSE

Par M. J. ICHON, Ingénieur en chef des mines.

La Prusse a introduit, dans ces derniers temps, des réformes considérables dans le système de ses impôts; cette réforme a atteint l'industrie des mines qui avait eu jusqu'ici une législation spéciale sous ce rapport. L'idée qui avait déjà guidé le législateur soit dans les diverses lois d'assurance contre la maladie, contre les accidents et contre l'invalidité, soit dans les prescriptions concernant le contrat de travail et les conditions d'emploi des ouvriers, l'a amené à assimiler l'exploitation des mines à toute autre exploitation industrielle.

Dans une note relative à la suppression des impôts spéciaux aux mines, publiée par M. Brassert (*), celui-ci rappelle que c'est par la loi du 12 mai 1851 qu'on a commencé à alléger et à simplifier ces impôts dans les pays de la rive droite du Rhin, en réduisant au vingtième la redevance proportionnelle sur le produit brut qui avait été jusqu'alors du dixième, et à 1 thaler la redevance fixe par concession; on remplaçait, en même temps, vingt-quatre impôts vexatoires par l'impôt de surveillance de 1 p. 100 du produit brut, et on permettait les abonne-

(*) *Zeitschrift für Bergrecht* 1894, 1re liv., p. 1.

ments pour les deux impôts sur le produit brut, qui prenaient encore 6 p. 100 de ce dernier.

Une loi du 21 mai 1860 supprima les divers droits perçus jusqu'alors par l'Administration des mines pour l'expédition des affaires.

Pendant ce temps les redevances prévues par la loi du 21 avril 1810 continuaient à être perçues dans les provinces de la rive gauche du Rhin.

La loi du 20 octobre 1862 uniformisa finalement les impôts miniers pour toute la Prusse. Une loi du 22 mai 1861 avait déjà réduit l'impôt proportionnel à 4 p. 100 du produit brut pour les provinces de la rive droite; la loi de 1862 le fixa à 3 p. 100 à partir du 1er janvier 1863, à 2 p. 100 à partir du 1er janvier 1864 et à 1 p. 100 à partir du 1er janvier 1865, tout en maintenant l'impôt de surveillance de 1 p. 100; le total de l'impôt se trouvait ainsi ramené à 2 p. 100 du produit brut. La même loi supprima tout impôt pour les mines de fer, ainsi que pour toutes les mines, la redevance fixe de 1 thaler dont le non-payement entraînait jadis la déchéance. La loi du 20 octobre 1862 avait, en même temps, substitué, dans les provinces de la rive gauche du Rhin, la redevance proportionnelle de 2 p. 100 du produit brut à la redevance de 5 p. 100 sur le produit net.

Les prescriptions de la loi du 20 octobre 1862 sont restées en vigueur jusqu'ici en ce qui concerne les impôts miniers proprement dits, ce qu'on appelle en allemand les *Realsteuern vom Bergbau;* d'autre part, l'exploitation des mines était soumise comme toute autre industrie aux règles générales qui concernent l'impôt sur le revenu.

Deux lois du 14 juillet 1893, l'une prescrivant la suppression de divers impôts directs perçus jusqu'alors par l'État, l'autre relative aux impositions communales sont venues modifier profondément la situation des exploitations de mines en matière d'impôts.

Le paragraphe second de la première de ces lois supprime la *perception* par l'État de l'impôt minier de 2 p. 100 du produit brut pour toute la monarchie. La seconde de ces lois, par contre, soumet l'exploitation des mines à l'imposition par les communes comme la plupart des autres industries. Voici comment s'exprimait l'exposé des motifs à ce sujet :

« Les impôts spéciaux aux mines sont considérés, dans le système d'impôts de la Prusse, comme tenant lieu de l'impôt industriel et comme faisant partie des impôts directs. Que cette manière de voir et de faire tienne ou ne tienne pas compte de l'origine et de l'essence intime des impôts miniers, il n'en est pas moins vrai qu'ils constituent en fait l'imposition particulière d'une industrie isolée, imposition inacceptable avec la transformation projetée des impôts. Si l'État renonce en faveur des communes à toute imposition immédiate des objets imposables (*), il ne saurait maintenir l'imposition spéciale de l'exploitation des mines sans déroger aux principes d'une répartition équitable des impôts, sans charger l'exploitation des mines d'une manière excessive et sans empêcher les communes de profiter d'une manière complète de cette source d'impôts.

« En soumettant les sociétés qui exploitent des mines à l'impôt sur le revenu, l'État s'est proposé de faire porter en matière d'exploitation de mines la charge des impôts directs, surtout sur l'impôt sur le revenu. La conséquence nécessaire de la réforme des impôts doit être, pour les exploitations de mines, leur libération des anciens impôts spéciaux.

« On ne pourrait d'ailleurs justifier, au point de vue de l'économie politique, le maintien d'un impôt minier spécial à côté de l'impôt sur le revenu.

(*) *Objectbesteuerung.*

« L'impôt existant de 2 p. 100 du produit brut, qui équivaut à un impôt de 4 ou 5 p. 100 du produit net, paraît déjà considérable et excessif par lui-même. La charge qui en résulte peut être supportée par l'exploitation des mines lorsque la situation commerciale est favorable ; mais dans les périodes fréquentes et prolongées de crise économique et industrielle, elle est de nature à arrêter la prospérité de cette industrie si importante pour l'économie générale et surtout à entraver sa concurrence contre l'étranger. Ces considérations ont encore plus de poids depuis que les charges de l'exploitation des mines ont augmenté sensiblement dans le domaine du droit public, surtout par suite de la législation politico-sociale.

« Enfin les besoins d'impôts qu'ont les communes exigent également la suppression complète des impôts miniers. L'exploitation des mines plus que bien d'autres industries occasionne aux communes des dépenses exceptionnelles pour les indigents, les écoles, les routes et chemins, la sécurité publique, etc. Il paraît donc équitable, non seulement de faire participer les exploitants de mines à l'impôt communal sur le revenu, ainsi que cela a eu lieu jusqu'ici, mais encore de faire imposer les exploitations elles-mêmes, suivant les circonstances, par les communes soit sur la base de l'impôt industriel taxé par l'État, soit au moyen d'impôts industriels communaux et spéciaux. On a donc, dans le projet de loi sur les impôts communaux, assujetti l'exploitation des mines aux impôts industriels sans aucune réserve. »

D'après le texte de la loi du 14 juillet 1893 les anciens impôts miniers ne sont pas, il est vrai, supprimés en droit ; leur perception est simplement suspendue, ce qui correspond à leur suppression en fait, l'intention du législateur n'étant pas de les rétablir. Cette rédaction a dû être adoptée parce qu'il existe encore en Prusse des redevances sur les mines qui sont dévolues à des particuliers et qu'on n'a pas voulu atteindre de force par la loi. Ceux-ci pourront donc continuer à percevoir leurs redevances dans la limite du 2 p. 100 du produit brut prescrit par l'ancienne loi. Les exploitants de mines qui payent ces redevances auront à l'avenir une situation plus mauvaise que par le passé puisqu'ils seront astreints en même temps au payement des impôts communaux qui, pour les autres exploitants, prennent la place des impôts payés jusque-là à l'État.

Les impôts communaux, et plus spécialement l'impôt sous la forme d'impôt industriel, devant remplacer les anciennes redevances, il y a lieu de se demander si les exploitants auront à se féliciter de ce changement ; les redevances étaient des impôts absolument définis, les nouveaux impôts donneront lieu, selon toute probabilité, à des appréciations très diverses et à des contestations nombreuses.

Nous lisons à ce sujet, dans un article publié par M. Engels, dans la *Zeitschrift für Bergrecht*, ce qui suit :

« Si l'impôt minier de l'État est tombé, un nouvel édifice d'impôts s'élève aussitôt sur les mines ; l'exploitation des mines est livrée aux communes comme nouvel objet imposable, ce qui est accueilli par elles d'une manière très favorable. Deux formes d'impôt communal seront admises : celle de l'impôt sur le revenu et celle de l'impôt sur l'industrie. Les communes n'hésiteront certainement pas à utiliser au mieux les deux formes. Si la redevance sur le produit brut de l'État a semblé souvent lourde et injuste, il est probable que les charges nouvelles résultant pour l'exploitation des mines des impôts communaux ne seront guère moindres pour beaucoup d'entre elles. Les exploitations situées dans les communes nécessiteuses et qui ne verront pas leurs charges diminuées, regretteront l'ancienne égalité des

impôts quand elles verront une exploitation voisine, dépendant d'une commune plus riche, moins chargée d'impôts. »

Quelles sont au fond les charges qui peuvent incomber aux exploitations de mines, du fait des communes, d'après la nouvelle loi?

Nous trouvons en premier lieu des *rétributions* (*Gebühren*) perçues pour l'utilisation d'établissements d'intérêt public dont les exploitations tireraient un avantage particulier, et des *contingents* (*Beiträge*) pour la création ou l'entretien de pareils établissements; la répartition de ces derniers doit être approuvée par l'administration supérieure.

Viennent ensuite les *impôts directs* comprenant l'impôt foncier, l'impôt industriel (rentrant dans les *Realsteuern*) et l'impôt sur le revenu.

Les communes ne peuvent lever des impôts directs que pour le montant de leurs dépenses qui ne serait pas couvert par les autres recettes provenant de leurs revenus propres, des rétributions, des contingents et des impôts indirects.

L'impôt industriel sera dû par les mines dans les communes où l'exploitation aura lieu.

D'après l'article 29 de la loi, les communes peuvent percevoir un impôt industriel spécial évalué d'après, soit le produit de la dernière année ou de plusieurs années, soit le montant des capitaux de premier établissement et d'exploitation, soit encore d'autres indices de l'importance de l'industrie.

Si la commune n'établit pas d'impôt industriel spécial, l'impôt est perçu en centimes additionnels de l'impôt industriel taxé par l'État. En effet, l'État, tout en renonçant à percevoir pour son compte les impôts directs autres que celui sur le revenu, continue à en faire l'évaluation comme par le passé, en vue de l'imposition communale;

l'exploitation des mines y sera comprise comme les autres industries.

D'après l'article 31 de la loi, l'impôt industriel pourra être différent pour les diverses industries, suivant les avantages plus ou moins grands qu'elles retirent des institutions de la commune et suivant les frais que les industries lui occasionnent.

L'impôt industriel perçu en centimes additionnels de celui évalué par l'État est réparti entre les diverses communes sur lesquelles s'étend l'exploitation; les impôts industriels spéciaux ne peuvent être taxés qu'en proportion de la partie de l'exploitation située dans les communes qui les établissent.

La création des impôts industriels spéciaux prévus par l'article 29 ne paraît pas sans danger pour les exploitations de mines; il est à craindre, en effet, comme l'indique M. Engels, que celles-ci n'en soient spécialement grevées, bien que, d'après l'article 31, une répartition inégale des impôts industriels exige l'approbation de l'administration supérieure.

En ce qui concerne l'impôt sur le revenu dû à l'État, nous avons dit plus haut que l'exploitation des mines avait été soumise depuis longtemps aux mêmes règles que les autres industries; mais, tandis qu'auparavant l'impôt ne frappait que le revenu individuel, une loi nouvelle du 24 juin 1891, relative à l'impôt sur le revenu, l'établit également sur le revenu des sociétés par actions, des sociétés en commandite par actions, des sociétés minières (*Gewerkschaften*), etc. L'impôt frappe donc l'actionnaire une première fois par application à la totalité de son revenu personnel et une autre fois par son application au bénéfice de la société; il y a là une inégalité de traitement, puisque le propriétaire unique d'une mine ne payera l'impôt qu'une seule fois.

D'après le paragraphe 16 de la loi en question, le re-

venu imposable des sociétés se compose des bénéfices distribués aux actionnaires comme intérêts d'actions ou dividendes, en y comprenant les sommes employées à l'amortissement du capital et à l'amélioration ou à l'extension de l'affaire, mais après déduction de 3 1/2 p. 100 du capital; de plus, on admet, pour l'exploitation des mines, la déduction d'une somme correspondant à la diminution, dans l'année, de la substance minérale exploitée.

A côté de l'impôt sur le revenu perçu par l'État se place celui que peuvent percevoir les communes, d'après la loi du 14 juillet 1893. L'impôt sur le revenu frappe, en ce qui concerne l'exploitation des mines : 1° les personnes qui, sans être domiciliées dans la commune, y possèdent des mines ou en exploitent en dehors d'une société minière (*Gewerkschaft*); 2° les sociétés par actions, les sociétés en commandite par actions, les sociétés minières (*Gewerkschaften*), qui possèdent des mines dans la commune ou en exploitent; 3° l'État pour ses entreprises de mines. L'impôt est calculé sur le revenu que donne l'exploitation dans la commune même. L'exploitation n'est sujette à l'impôt sur le revenu que dans les communes où se trouvent le siège ou une succursale de l'entreprise, un chantier d'exploitation, un atelier ou un dépôt de vente, ou enfin une agence autorisée à conclure directement des contrats valables au nom et pour le compte de l'exploitant.

L'impôt sur le revenu dû aux communes est basé sur l'impôt dû à l'État; il est perçu en centimes additionnels à celui-ci. Exceptionnellement et sous l'approbation de l'administration supérieure, les communes peuvent percevoir des impôts spéciaux sur le revenu.

Les communes peuvent conclure des conventions avec les redevables pour percevoir, pendant plusieurs années, une somme fixe en place de l'impôt industriel et de l'impôt sur le revenu qui pourraient varier.

La répartition du revenu imposable provenant d'une exploitation qui s'étend sur plusieurs communes a lieu d'après les dépenses en traitements et salaires faites dans les diverses communes.

Dans le calcul de l'impôt sur le revenu dû aux communes, on ne fait pas la déduction de 3 1/2 p. 100 du capital admise dans l'évaluation du revenu pour le calcul de l'impôt dû à l'État.

En résumé, l'exploitation des mines sera soumise, à partir du 1er avril 1895 :

Vis-à-vis de l'État, à l'impôt sur le revenu;

Vis-à-vis des communes, à l'impôt sur le revenu, à l'impôt industriel, à l'impôt foncier et à des rétributions et contingents divers.

Les règlements pour l'application de la loi du 14 juillet 1893 n'ont pas encore paru et il est impossible de chiffrer dès à présent les modifications qu'elle entraînera dans le montant des impositions des exploitations de mines. Dans tous les cas, ces impositions ne seront plus basées sur le produit brut des mines, mais sur le bénéfice en ce qui concerne les impôts sur le revenu et sur ce même bénéfice, sur le capital de l'affaire ou sur d'autres indices de son importance en ce qui concerne l'impôt industriel. La base de l'impôt sera donc plus rationnelle; reste à savoir si l'impôt sera moindre que par le passé.

Depuis l'application de la loi du 24 juin 1891 relative à l'impôt sur le revenu, les charges de l'exploitation des mines avaient considérablement augmenté. Pour la première année d'application (1892-1893), les mines de houille et de lignite autres que celles de l'État ont eu à payer, à l'État, en impôt sur le revenu, la somme de 4.242.633 marks (5.303.270 francs), qui est venue s'ajouter aux autres charges antérieures. Il n'est pas sans intérêt d'indiquer ici l'accroissement de ces charges de-

puis l'année 1885, en regard des quantités de combustible extraites :

	1885	1886	1887	1888	1889	1890	1891
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Production en tonnes. Houille. . .	46.341.384	46.166.000	48.080.288	52.714.420	54.755.016	57.510.244	60.500.103
Production en tonnes. Lignite . . .	11.424.489	11.578.935	11.648.627	12.045.702	12.862.727	14.087.382	15 175.880
	marks.	marks.	marks.	marks.	marks.	marks.	marks
Impôts miniers (ou redevances des mines).	4 013.070	3.944.507	4.261.752	4.872.965	5.377.998	7.742 139	7.556.000
Versements aux caisses de secours. Exploitants.	5.135.701	5.557.652	6.401.391	6.435.596	6.991.327	7.691.180	7.691.180
Versements aux caisses de secours. Ouvriers. .	5.432.384	6.073.667	6.948.877	7.275.557	7.918.794	8.958.237	8.958.237
Assurance contre l'invalidité et la vieillesse.	»	»	»	»	»	»	3.383.940
Assurances contre les accidents.	»	2.027.106	3.056.365	3.595.901	3.908.118	4.740.919	5.183.906
Impôts communaux.	1.465.159	1.522.577	1.541.260	1.505.922	1.606.219	2.185.102	4.031.487
Autres charges publiques. .	218.716	227.363	217.083	233.937	295.657	325.573	372.589
Total	16.265.030	19.352.872	22.426 728	23.919.880	26.098.113	31.643 450	37.177.339
Impôt sur le revenu à ajouter pour l'année 1892.	»	»	»	»	»	»	1.212.633

A partir du 1er avril 1895, les redevances, dont le montant a été de 7.556.000 marks en 1891, seront supprimées; mais, en outre de l'impôt sur le revenu, les charges seront augmentées par les divers impôts que les communes pourront désormais percevoir.

BULLETIN.

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE

BOLIVIE.

Lois des 13 *octobre* 1880 *et* 22 *avril* 1893.

Quelle qu'ait pu être la fréquence des modifications introduites dans leur législation des mines par la plupart des États hispano-américains, il en est peu qui offrent, autant que la Bolivie, l'exemple de changements nombreux dans les dispositions les plus importantes de cette matière.

Antérieurement à l'indépendance, l'exploitation des mines était soumise, en Bolivie, aux *ordonnances du Pérou* d'abord, puis aux *ordonnances de Mexico*, en tant que les règles de ce dernier acte pouvaient s'appliquer au pays. Le 13 novembre 1834, fut promulgué un nouveau code des mines, jugé si défectueux qu'on suspendit son application le 5 octobre 1836 ; on revint aux antiques ordonnances en attendant qu'on eût achevé la préparation d'un nouveau code. Celui-ci fut mis en vigueur le 10 septembre 1852, avec abrogation de toutes les dispositions contraires des ordonnances. La nouvelle réforme ne fut pas plus heureuse, et des mesures postérieures pour son application amenèrent une confusion telle, qu'on dut songer à refaire un nouveau code, et de différents côtés on en prépara les bases.

Jusque-là on s'était toujours inspiré des règles de l'ancien droit minier espagnol. Mais l'Espagne venait d'être dotée de la célèbre loi de Ruiz-Zorrilla, du décret-bases du 29 décembre 1868, qui avait si profondément bouleversé les principes caractéristiques du vieux droit minier espagnol, qui avait supprimé le

despueble ou le chômage entraînant *de plano* la déchéance, et le *denuncio* ou la dénonciation attribuant *ipso facto* la mine, avec toutes ses dépendances, à celui qui établissait que son détenteur actuel avait encouru la déchéance, était en *despueble*.

Ce fut d'après les principes du nouveau droit, que le gouvernement bolivien songea à refondre sa législation et qu'il établit en effet la loi du 13 octobre 1880.

La loi bolivienne de 1880 diffère toutefois sur plusieurs points de la loi espagnole de 1868. Celle-là ne s'applique qu'aux substances métallifères proprement dites, laissant les substances non métallifères sous l'empire d'une loi de 1872, dont on reparlera ci-après, tandis que la loi espagnole s'applique, sans distinction, à toutes les substances minérales ou fossiles. La loi espagnole ne limite pas la surface que l'on peut acquérir par voie de priorité de la demande ; la loi bolivienne la réduit à une étendue de 30 hectares pour les gîtes récemment découverts (art. 7), le règlement de 1882 (art. 8) spécifiant que, par gîte connu, il faut entendre celui sur lequel une mine au moins est ou a été en activité, ou celui dans lequel ont été présentées deux ou plusieurs demandes d'institution par des personnes distinctes. Enfin, la loi espagnole ne permet les recherches en terrains de propriété privée qu'avec la permission du propriétaire ; la loi bolivienne ne les interdit que dans les enclos murés, vignes ou jardins.

Mais il y avait identité entre les deux lois, sur le mode d'appropriation de la mine, à la priorité de la demande, sans travaux, sans exiger qu'il y ait présomption de l'existence d'un gîte (art. 8), ainsi que sur le caractère de la mine appropriée et les conditions de sa jouissance, et notamment sur le droit absolu d'exploiter ou de ne pas exploiter, à la seule condition de payer, en deux termes semestriels, une taxe annuelle de cinq boliviens (*) par hectare (art. 16). La déchéance n'était encourue qu'à défaut de laisser passer deux termes sans acquitter la redevance, et, en cas de déchéance, la mine était vendue au profit du propriétaire ou de ses créanciers ; elle ne retournait à l'état de *res nullius*, apte à être appropriée de nouveau dans les conditions légales, que si la mine n'avait pas trouvé preneur après deux adjudications successives (art. 18 et 19).

(*) Pour la valeur du bolivien, voir *supra*, p. 513.

La loi de 1880, avec ses trente-sept articles, présentait cette particularité, pour une loi hispano-américaine, d'être relativement fort condensée ; elle était, il est vrai, complétée par un long règlement en soixante-quinze articles, du 28 octobre 1882, qui contenait toutes les clauses de détail nécessaires à l'application de la loi.

Pour les substances non métallifères, telles que les matières salines, pierreuses ou combustibles, la loi de 1880 avait laissé en vigueur un décret antérieur du 31 décembre 1872. En dehors des substances pierreuses pour construction ou amendements qui restaient à la disposition des propriétaires superficiaires, lorsque ces substances n'avaient pas à être exploitées industriellement, ce décret avait maintenu, pour les substances auxquelles il s'appliquait, le régime de l'ancien droit espagnol, l'institution de la mine à la priorité de la prise de possession effectuée par un travail de découverte et son maintien sous l'empire du *despueble* et du *denuncio* ; la règle était d'occuper un ouvrier au moins par *estaca* (art. 11) (*). Ces *estacas*, que la loi de 1880 (art. 34) a réduite de moitié, ne peuvent donc plus avoir désormais que 200 mètres de long sur 12m,50 de large pour les veines ou filons (art. 14) et que 400 sur 400 mètres (art. 15) pour les amas, bancs ou couches. L'exploitant avait, en outre, à payer par an, vingt boliviens par *estaca* de la première catégorie, vingt-cinq par *estaca* de la seconde (art. 29), et respectivement trente ou quarante boliviens pour les *estacas* de salpêtre de chacune de ces catégories (art. 30) ; ces redevances n'avaient pas la déchéance pour sanction de leur payement ; par contre, la loi prévoyait (art. 38) la possibilité de modifier la forme et le taux de ces impôts par la loi de finances.

Une loi du 22 août 1893 a apporté à cet ensemble assez complexe, en outre de simples modifications de procédure, un changement de fond très important. Elle stipule, en effet (art. 9), que la déchéance des mines soumises à la loi de 1880, en cas de non payement des redevances de deux semestres, au lieu d'être suivie d'une adjudication au profit de l'exploitant déchu, serait, après mise en demeure de quinze jours restée sans résultat, une déchéance pure et simple ; la mine peut être de nouveau appropriée

(*) Ou plus exactement quatre ouvriers par groupes de *quatre estacas* que chaque intéressé pouvait prendre par demande.

dans les conditions habituelles, sans indemnité pour le propriétaire déchu, sauf droit de préférence en faveur de celui qui signale l'état des choses et offre le payement des redevances arriérées (art. 10) (*). Si, ultérieurement un exploitant redevenait propriétaire à un titre quelconque d'une mine dont il aurait été déchu, sa dette renaîtrait au bénéfice du Trésor (art. 11).

Nous nous bornons à ces simples indications ; la législation bolivienne sur les autres points ne présente rien qui diffère assez sensiblement des règles du nouveau droit minier espagnol, pour qu'il y ait intérêt à s'y arrêter ici ; tout cela est assez connu dans son ensemble.

L. A.

(*) Durant le second semestre la dette de l'exploitant, à raison du premier semestre, s'augmente d'un intérêt pénal de 2 p. 100 par mois.

ÉTUDES

SUR LE BASSIN HOUILLER DU NORD

ET SUR LE BOULONNAIS

Par M. Marcel BERTRAND, Ingénieur en chef des mines,
Professeur à l'École supérieure des mines.

ECOLE NATIONALE DES MINES BIBLIOTHEQUE

J'ai essayé, dans un précédent mémoire (*), de préciser et de discuter la méthode qui peut mener, *par des études de surface*, à suivre en profondeur la prolongation des plis houillers, et comme conséquence à établir le raccordement des bassins houillers du nord de la France avec ceux du sud de l'Angleterre. Le principe sur lequel je me suis appuyé est très simple : *les plis se répètent toujours aux mêmes places;* les parties qui se sont abaissées dans les temps secondaires et tertiaires sont au-dessus des anciens synclinaux; celles qui se sont élevées sont au-dessus des anciens anticlinaux. Ces coïncidences souvent remarquées avaient déjà été prises comme point de départ de recherches semblables ; j'ai essayé de montrer qu'il ne s'agissait pas seulement de coïncidences plus ou moins nombreuses, mais d'une véritable loi qui préside aux déformations de l'écorce terrestre.

Je ne veux pas revenir ici sur le principe théorique, mais seulement sur l'application que j'avais essayé d'en

(*) *Annales des mines*, janvier 1893.

faire au Boulonnais. La revision récente de la carte géologique a complété et modifié nos connaissances sur l'allure des couches crétacées de la région ; les résultats auxquels j'étais arrivé en partant des anciens contours, doivent être corrigés en conséquence.

J'ai déjà expliqué quelles sont les difficultés de la question : il s'agit, en fait, de connaître les ondulations de la surface d'un banc de craie ou d'un banc tertiaire, c'est-à-dire d'un banc souvent difficile à reconnaître avec certitude et en tout cas découvert sur de faibles espaces. Les dénivellations qu'il faut étudier dans la surface de ce banc sont des dénivellations de quelques mètres ou de quelques dizaines de mètres ; les premiers documents résultant d'une étude générale de la région n'ont évidemment pu fournir que des données provisoires, et les premières interprétations qu'on peut en tirer ne sont qu'un tâtonnement sujet à revision. C'est ainsi que depuis ma première étude, une note de M. Parent, sur les plis du nord de l'Artois (*), a fourni de nouveaux documents, empreints du caractère de précision qu'on sent maintenant nécessaire dans ces questions. Il y a donc lieu de reprendre sur ces nouvelles bases l'étude du raccordement entre les plis du Pas-de-Calais et ceux du Boulonnais. Les modifications qui en résultent dans mes anciennes conclusions sont exposées dans la seconde partie de cette note.

La première partie en sera consacrée au développement d'une interprétation nouvelle de la structure du bassin houiller du Nord. Cette interprétation et les arguments sur lesquels je l'appuie ne se relient qu'indirectement au même ordre de considérations théoriques. L'idée, il est vrai, m'en avait été d'abord suggérée par un premier examen de la surface des terrains primaires en Belgique ;

(*) *Annales Soc. géol. du Nord*, t, XXI, p. 93.

mais les données dont je dispose à ce sujet sont encore trop vagues et trop peu précises pour qu'il y ait lieu d'insister sur ce point. Cette première partie sera donc seulement une étude directe des plis du terrain houiller, tandis que la seconde sera une étude des plis de la surface, à l'autre extrémité du bassin.

Les conclusions auxquelles j'arrive peuvent avoir, l'une et l'autre, un certain intérêt pratique au point de vue de la plus ou moins grande extension souterraine de nos richesses houillères. Elles peuvent se résumer ainsi :

1° La saillie des terrains anciens qui borde au sud le bassin houiller exploité dans le département du Nord, n'est pas la continuation du pli qui limite au sud le bassin houiller belge ; ce dernier pli, connu sous le nom d'*axe du Condros*, et qui a formé déjà dans les temps paléozoïques le rivage de la mer du dévonien inférieur, va passer bien plus au sud ; et les couches de Dour, connues aujourd'hui seulement jusqu'à Quiévrechain, doivent se poursuivre vers l'ouest le long de ce pli, c'est-à-dire à plusieurs kilomètres au sud de la limite actuellement admise.

2° Les plis jurassiques du Boulonnais ne sont pas, comme je l'avais cru à tort, la continuation des plis du bassin houiller du Pas-de-Calais. Le Boulonnais, ou au moins tout le centre et le sud du Boulonnais, ne sont qu'une grande *lentille amygdaloïde* ouverte au centre d'un synclinal secondaire du bord méridional du bassin houiller. Ces sortes d'accidents, dont je viens de signaler l'existence incontestable dans les Alpes françaises (*), me paraissent maintenant être très fréquents dans toutes les régions de plissements ; ils donnent naissance actuellement dans les Alpes, et ont dû également donner nais-

(*) *C. R. Ac. des sciences*, 22 janvier 1894.

sance dans la chaîne houillère, à des massifs saillants, où les dénudations postérieures n'ont laissé probablement subsister que des terrains relativement anciens. Les terrains houillers sont, comme on sait, les terrains les plus récents de la chaîne houillère; il n'y a donc aucune chance de les rencontrer sur l'emplacement de ces lentilles amygdaloïdes, au-dessus desquelles ils ont été spécialement exposés à la dénudation.

La prolongation des plis qui ont donné naissance aux cuvettes houillères du Nord et du Pas-de-Calais, laisse encore place dans le détail à quelques incertitudes; mais elle irait en tout cas passer *au nord* de cette lentille amygdaloïde.

I. PLI DE DOUR ET LIMITE MÉRIDIONALE DU BASSIN HOUILLER DU NORD.

Sur la carte que j'ai donnée de la surface des terrains primaires, j'ai tracé une ligne de dépression, que j'ai nommée pli de Dour, et qui accompagne à quelques kilomètres de distance, depuis Valenciennes jusqu'à Douai, la limite méridionale des terrains houillers. Cette ligne, déterminée par des données assez nombreuses du côté de l'ouest, avait été continuée hypothétiquement à l'est, à partir de Bouchain. M. Dollfus (*) a donné le résultat de deux sondages récemment faits à Bouchain (à 300 mètres à l'ouest de la gare, près la grande route de Paris), et à Noyelles-sur-Selles (dans le village même, au fond du vallon). Tous deux sont entrés, au-dessous de la craie, dans le dévonien inférieur, le premier à la cote — 46, le second à la cote — 5. M. Dollfus fait remarquer que ces deux points doivent jalonner à peu près le passage d'un anticlinal, et que le synclinal de Dour doit

(*) *Annales Soc. géol. du Nord*, t. XXI, p. 332.

là être reporté à quelques kilomètres plus au sud, auprès d'Etrun, où le sondage du camp de César a atteint le dévonien à la cote — 85. Je suis absolument de cet avis, et quoique ces nouvelles données ne permettent pas encore un tracé rigoureux, on peut admettre que le pli de Dour, à partir de Quiévrechain, va passer un peu au-dessous de Maing et de Monchaux, puis par Etrun, pour rejoindre l'ancien tracé auprès de Wasnes-au-Bac.

Cette première rectification n'a que peu d'importance au point de vue général. Je la mentionne ici, parce qu'elle mène à se demander à quoi peut correspondre en profondeur cette dépression de la surface des terrains primaires, désignée sous le nom de pli de Dour. Elle suit parallèlement une série de dépressions semblables de la même surface qui, ainsi que je l'ai montré, correspondent comme position et comme direction à des plis plus anciens des terrains houillers. Il paraît donc naturel de lui assigner une signification de même ordre, d'autant plus qu'elle est précisément superposée à la petite pointe de terrain houiller qui pénètre en France à Quiévrechain et qui est connue sous le nom de bassin de Dour.

Mais les couches de Dour ne forment pas en réalité un bassin, ou pour mieux dire, une cuvette distincte; les terrains carbonifères et dévoniens, qui reparaissent au nord, à Boussu, à Onnaing et à Quiévrain, ne correspondent pas à un relèvement des couches qui formerait le bord septentrional de cette cuvette. C'est une masse superficielle, un *paquet amené de loin et superposé au terrain houiller*. Ce paquet est le restant d'une nappe beaucoup plus étendue (nappe de recouvrement) qui a été en grande partie enlevée par la dénudation; les points où des témoins en ont subsisté sont donc ceux où elle était le plus profondément enfoncée; ils indiquent non pas un relèvement du fond, mais un approfondissement de la cuvette. Comme l'indique la coupe schématique

(*fig.* 1), le *bassin de Dour* n'est que le bord méridional de la grande cuvette, large et régulière dans son ensemble, qui forme le bassin houiller de Mons.

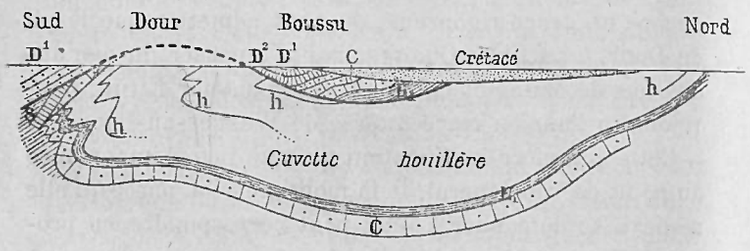


Fig. 1. — Coupe du bassin de Mons ($\frac{1}{150\,000}$).

S, silurien. — D^1, dévonien inférieur. — D^2, dévonien supérieur. — C, calcaire carbonifère. — H^1, houiller inférieur (stérile). — *hh*, couches de houille.

La saillie que montre la surface des terrains primaires au Blanc-Misseron est superposée à une partie de ce paquet; si donc on cherche un lien entre la forme de cette surface et l'allure des terrains paléozoïques, cette saillie indiquerait non pas un anticlinal ancien, mais seulement une partie moins dénudée de la nappe de recouvrement, et par continuité on peut se demander si la croupe qui prolonge cette saillie et qui suit le bord du bassin de Valenciennes n'aurait pas la même signification; dans cette hypothèse, cette croupe, au lieu de jalonner la place d'un anticlinal limitant le bassin, marquerait celle d'une longue traînée de roches anciennes superposées aux parties les plus profondes du synclinal houiller. De même alors, la dépression désignée sous le nom de pli de Dour, à 5 kilomètres environ au sud de la limite indiquée par les travaux actuels et par les cartes, au lieu d'indiquer le parcours d'un synclinal secondaire, suivrait le véritable thalweg de la grande cuvette houillère, celui dans lequel ont dû être conservées les couches les plus récentes, les couches à gaz de la zone supérieure du Pas-de-Calais.

Ce n'est là qu'une induction un peu vague; elle pose la question, ce qui est déjà quelque chose, mais évidemment sans prétention à pouvoir la résoudre. J'ajoute immédiatement qu'à un premier examen l'hypothèse semble si peu d'accord avec les faits d'observation, que je ne m'y étais pas arrêté. C'est seulement le remarquable travail que M. Briart vient de publier sur les environs de Fontaine-l'Évêque et de Landelies, dans le bassin de Charleroi (*), qui, en me montrant les faits sous un jour nouveau, m'a engagé à reprendre la question. M. Briart a mis en pleine lumière ce fait important : que la nappe de recouvrement (c'est-à-dire l'ensemble des terrains plus anciens amenés en superposition anormale au-dessus de la cuvette houillère) peut comprendre, elle aussi, des terrains houillers, arrachés au bord de la cuvette et charriés au-dessus d'autres couches restées en place. La distinction entre ces deux systèmes de couches, d'origine différente, mais d'apparence semblable, devient alors très difficile à faire; même quand elle est faite, on attache involontairement moins d'importance à une faille qui met en contact le terrain houiller avec un autre niveau du même terrain qu'à celles qui le mettent en contact avec le calcaire carbonifère ou avec le dévonien. Ce sont comme deux catégories différentes de contact anormal; et la seconde caractérisant en général la grande faille du bord du bassin, celle sur laquelle ont glissé les nappes de recouvrement, la première est naturellement attribuée à des accidents d'un autre ordre ou d'une importance secondaire. La continuité seule pouvait montrer qu'il en est autrement; c'est ce que M. Briart a fait pour Charleroi, et je crois que ses coupes peuvent s'appliquer *sans modification* au bassin de Valenciennes. Ce serait là tout l'ensemble des cou-

(*) *Géologie des environs de Fontaine-l'Évêque et de Landelies*, par M. Alph. Briart, Liège, 1894.

ches situées au sud du cran de retour qui ferait partie de la nappe de recouvrement, amenée du bord méridional au-dessus de la cuvette houillère. Cette nappe de recouvrement comprend des terrains dévoniens, des terrains carbonifères et *du terrain houiller productif*, dont l'ensemble a glissé de plusieurs kilomètres vers le nord; mais la grande cuvette que cet ensemble a recouvert se continue au-dessous de ce manteau, semblable à celle de Mons à laquelle elle fait suite, comprenant comme elle en son centre les couches les plus récentes (houilles à gaz), qui sont réputées manquer dans le bassin du Nord, et qui doivent souterrainement aller rejoindre celles du Pas-de-Calais. Contrairement à l'explication ancienne qui ferait du bassin du Nord une partie plus profondément dénudée que les parties voisines, dans laquelle par conséquent les couches les plus récentes auraient été enlevées, cette interprétation ferait de ce bassin une partie moins dénudée, dans laquelle la nappe de recouvrement est restée à l'état de manteau continu, et où les couches les plus récentes du centre de la cuvette se trouvent enfouies à une grande profondeur sous ce manteau.

Je vais essayer de montrer que toutes les données résultant des exploitations peuvent facilement être mises d'accord avec l'hypothèse proposée, et que cette hypothèse permet de grouper *autour d'une même coupe schématique*, qui reste la même du bassin de Charleroi à celui de Douai, toutes les anomalies et toutes les variations apparentes de structure. Ce n'est pas encore suffisant pour *démontrer* que l'hypothèse est exacte, mais cela crée en sa faveur une probabilité sérieuse, d'autant plus grande que cette coupe type, à laquelle on ramène toutes les autres, n'est pas une coupe hypothétique, mais une coupe *réelle*, celle dont M. Briart vient de donner les détails pour les environs de Landelies et de Fontaine-L'Évêque.

Il est bon de rappeler sommairement le trait essentiel de la structure du bassin franco-belge, bien connu depuis longtemps, grâce aux beaux travaux de M. Gosselet : dans les grands mouvements qui ont terminé l'ère paléozoïque, l'Ardenne a été poussée sur la cuvette houillère; un pli surplombant (axe du Condros) s'est formé sur le bord sud de cette cuvette, englobant dans son noyau des assises dévoniennes et siluriennes; les efforts de poussée continuant et s'exagérant dans la partie supérieure de l'écorce, le haut du bourrelet ainsi formé a glissé lentement vers le nord; le bas, comparable à une membrane élastique qui reliait cette partie mobile aux parties plus profondes et non déplacées, a dû s'allonger, s'étaler sur un plus large espace, s'amincir par conséquent et comme se laminer; là où le laminage a atteint sa limite extrême, une simple surface de glissement remplace cette partie inférieure, c'est-à-dire l'ensemble des assises renversées dans le pli primitif; à d'autres endroits des lambeaux plus ou moins épais, avec surfaces de glissements secondaires, en ont conservé des traces. Nous verrons enfin qu'en certains points, la série complète des couches renversées peut se retrouver intacte, sans amincissement ni suppression de couches. La *fig.* 2 rend compte de la structure qui théoriquement résulte de ce mouvement de charriage. Elle équivaut au fond, comme je l'ai montré depuis longtemps, au schéma de M. Gosselet; seulement, pour mieux mettre en évidence le mécanisme essentiel du phénomène, elle ramène tout au plissement qui en est l'origine, et elle fait abstraction des failles secondaires qui peuvent l'accompagner, mais qui n'en sont pas une conséquence nécessaire.

Ces phénomènes, dont l'existence a été pour la première fois constatée dans les Alpes de Glaris et dans le bassin houiller franco-belge, sont maintenant connus sur le bord de toutes les grandes chaînes, aussi bien en

Amérique qu'en Europe, aussi bien dans les plus anciennes (nord de l'Écosse) que dans les plus récentes (Alpes, Provence et Pyrénées). Un seul point reste encore

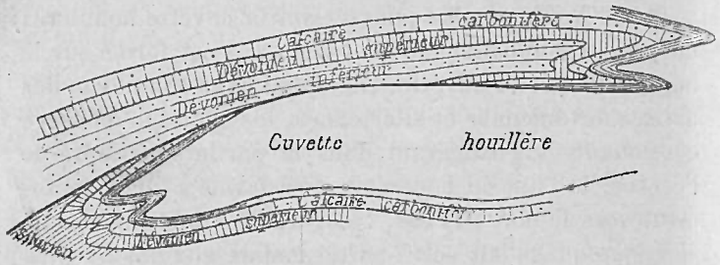


Fig. 2. — Coupe théorique du pli qui a donné naissance au recouvrement de la cuvette houillère.

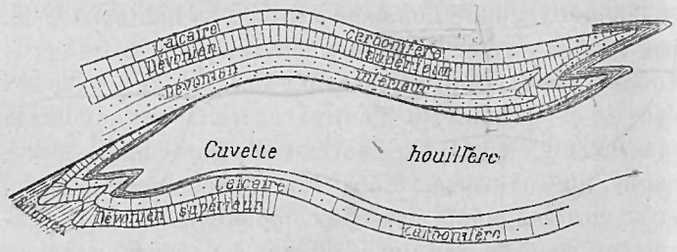


Fig. 3. — Le même, après affaissement de la partie centrale.

douteux, c'est l'amplitude que peuvent atteindre ces déplacements horizontaux; les exemples de 5, 10 et même 15 kilomètres sont maintenant nombreux et incontestables; on a parlé en Suisse de 50 et en Suède de 100 kilomètres!

Après la période paléozoïque, toute la région belge a été émergée et profondément dénudée; la dénudation et l'abrasion marine qui l'a suivie ont fait disparaître toutes les couches situées au-dessus d'une surface à peu près horizontale. Si le plan de dénudation est descendu au-dessous de la surface de charriage, demeurée elle-même à peu près horizontale, il est clair qu'il ne restera plus, en

dehors du renversement du bord de la cuvette, aucune trace de ces grands phénomènes; mais si des mouvements plus récents et de moindre importance ont ondulé la masse de charriage primitivement horizontale et substitué à la *fig.* 2 une figure telle que la *fig.* 3, les parties ainsi descendues au-dessous du niveau du plan de dénudation auront seules été conservées. C'est ce qui est arrivé en certains points, notamment près de Charleroi et de Mons. Ces parties isolées forment des massifs plus ou moins étendus qui se dressent localement au milieu du bassin, qui ont pu faire croire d'abord à des saillies du substratum, mais au-dessous desquels les exploitations ont suivi la continuité des couches de houille.

Ainsi, la coupe théorique du bassin est une coupe relativement très simple, et toutes les complications secondaires doivent se rattacher à ce grand phénomène d'ensemble, qui a comme enseveli 5 ou 6 kilomètres au moins de la cuvette houillère sous un épais manteau d'assises plus anciennes. La manière dont la dénudation a découpé ce manteau, les glissements secondaires qui ont accompagné le glissement principal ont créé en chaque point des apparences distinctes et des complications locales qui rendent les raccordements plus ou moins difficiles; mais les autres essais d'explications, auxquels ces complications de détail ont donné lieu (par exemple pour l'accident de Boussu) sont maintenant abandonnés, et tout le monde, exploitants aussi bien que géologues, est aujourd'hui d'accord sur le principe de la coupe théorique que je viens d'indiquer.

De la coupe théorique, passons maintenant aux *coupes réelles*, en commençant par celle de Charleroi, à laquelle le nouveau travail de M. Briart donne, comme je l'ai dit, une importance capitale. Ce qui paraît le plus étonnant dans ces grands mouvements *superficiels* de l'écorce terrestre, c'est qu'ils aient pu se produire sans dislocation

des masses mises ainsi en mouvement. Cette dislocation, cet émiettement des diverses parties, paraît surtout inévitable dans les parties les plus avancées, qu'on a peine à se figurer formant une sorte d'éperon en avant de la masse charriée. Or, il semble à Charleroi qu'on retrouve précisément ces parties les plus avancées, la tête ou la charnière anticlinale du pli primitif; on voit au-dessus de la surface de charriage, non plus des lambeaux étirés, mais la série complète des couches du dévonien supérieur et du carbonifère qui, toujours renversées et très froissées, se redressent jusqu'à la verticale et amorcent ainsi le retournement complet qui doit les faire s'emboîter les unes autour des autres. Je reproduis Pl. X, *fig.* 1 et 2, les deux coupes de M. Briart qui montrent cette disposition remarquable.

Ces coupes indiquent encore l'existence de trois et même probablement de quatre surfaces différentes, le long desquelles s'est successivement opéré le glissement et le transport horizontal des couches. La masse charriée s'est d'abord déplacée le long de la faille du Midi et de la faille de Tombe et a atteint la position I (*fig.* 1, Pl. X); la poussée continuant, un décollement s'est produit dans cette masse; la partie (I) est désormais restée immobile, tandis que le mouvement continuait au-dessus d'elle, le long de la faille de Fontaine-l'Évêque jusqu'à la position II, puis le long de la faille de Leernes jusqu'à la position III. M. Briart suppose même que le mouvement a dû continuer suivant la faille du Midi et suivant une quatrième faille (amorcée en pointillé) aujourd'hui dénudée. C'est un exemple remarquable des complications dont j'ai signalé la possibilité; mais ces complications même, une fois qu'on en a démêlé la cause, deviennent l'occasion de nouvelles vérifications, et c'est ainsi que M. Briart a pu suivre à la surface du sol les contours de ces trois failles dessinant trois ellipses séparées et isolant

ainsi *trois paquets* ou trois tranches distinctes qui se recouvrent partiellement. Cette analyse montre aussi que le déplacement constaté à la surface, c'est-à-dire la distance entre le terrain houiller inférieur resté en place et l'extrémité du terrain charrié, est seulement, *bien qu'atteignant déjà* 5 *kilomètres*, une partie du déplacement total; en doublant ce nombre, on resterait sans doute encore au-dessous de la vérité.

Mais le fait capital sur lequel j'ai déjà appelé l'attention, c'est que ces mouvements ont amené le terrain houiller inférieur, et même la base du terrain houiller productif, à reposer sur le houiller supérieur exploité. Dans les autres cas jusqu'ici observés et décrits dans le bassin, il existe une limite bien tranchée entre la nappe de recouvrement, formée de couches beaucoup plus anciennes, et le terrain houiller qu'elle recouvre; ici cette limite s'efface et disparaît, parce que l'extrémité au moins de la nappe venue du sud *est à peu près de même âge* que les terrains qu'elle recouvre; tout ce mécanisme complexe et ces immenses déplacements ont produit là, en fin de compte, la même apparence qu'aurait fait un simple pli ordinaire avec renversement des couches. Entre la faille, le long de laquelle le déplacement a été de plusieurs kilomètres, et les autres petites failles du bassin qui ont amené des déplacements de quelques dizaines de mètres, il est presque impossible de faire la distinction autrement que par voie de continuité. En n'étudiant que le bord extérieur de la faille (branche nord de M. Briart), on pourrait le suivre sur 15 kilomètres de long, sans que rien sur tout ce parcours puisse faire soupçonner l'amplitude exceptionnelle de l'accident auquel elle correspond.

Il y a là un enseignement précieux à retenir pour le reste du bassin. L'affleurement de la grande faille du Midi n'est pas marqué nécessairement par une succes-

sion conforme au croquis schématique que M. Gosselet en a donné et qui est devenu classique; à mesure qu'on s'éloigne vers le nord, à mesure par conséquent qu'on se rapproche du bord de la nappe de recouvrement, la série des termes renversés se complète, prend plus d'épaisseur, s'étend même jusqu'au houiller inférieur, et les apparences deviennent celles d'un simple renversement, même, par places, *sans faille visible*. C'est cette remarque, extraordinairement importante pour l'histoire et pour l'explication des phénomènes de recouvrement, qui me permettra de montrer tout le long du bassin l'accord des faits observés avec l'hypothèse que je développe (*).

Du bassin de Charleroi jusqu'à l'ouest du bassin de Mons, la coupe reste conforme à celle qu'on est convenu d'appeler la coupe normale, c'est-à-dire que la faille du Midi a été uniformément dénudée, sans laisser de lambeaux avancés, détachés ou non, subsister au-dessus de la cuvette houillère. Mais au couchant de Mons, dans le bassin de Dour, on retrouve des accidents comparables à celui de Landelies et de Fontaine-l'Évêque; ils sont connus depuis longtemps sous le nom d'accident et faille de Boussu.

La signification de la faille de Boussu a été bien mise en lumière par M. Gosselet (*L'Ardenne*, p. 743-746), qui l'a assimilée à sa faille limite, c'est-à-dire en conservant la forme donnée plus haut à l'explication de ces phénomènes, à une des surfaces le long desquelles s'est effectué le glissement des masses charriées vers le nord. Comme à Landelies, l'affleurement de cette faille entoure un *grand paquet de couches renversées* et superposées au terrain houiller; ces couches, affaissées depuis le charriage, forment maintenant une cuvette, au centre de laquelle le silurien repose sur le dévonien et celui-ci sur le carbonifère (*fig.* 1). En un point même, les travaux souterrains ont atteint, à la base du paquet, au-dessous du calcaire carbonifère, le poudingue de base du houiller, déjà presque redressé verticalement. Le relèvement du calcaire dévonien vers le nord a été également constaté; les autres détails de la coupe sont une conséquence évidente de ces faits, mais n'ont pas été directement observés. Les couches de houille sont exploitées au sud; elles sont connues au nord près de la frontière par des sondages qui les ont montrées plongeant sous le paquet; elles forment donc un fond de bateau, où ont été précisément conservées les couches les plus récentes du bassin belge.

La limite sud du paquet est exactement délimitée entre les concessions de Boussu et de Belle-Vue; elle se dirige vers Quiévrechain, où les travaux de la compagnie de Crespin l'ont retrouvée, mais au-dessous du dévonien inférieur (grande faille du Midi); le tracé entre ces deux points ne peut présenter que peu d'incertitude. Au nord, le paquet ne peut s'avancer très loin au delà des points où il a été reconnu, car le sondage d'Hastaings, à moins de 2 kilomètres, est tombé directement sur les terrains houillers au-dessous des morts-terrains. A la frontière, les sondages de Crespin et d'Hensies en France, ceux de Quiévrain en Belgique, fixent assez étroitement la place de son passage. On sait de plus par les travaux de mines que le paquet ne s'étend pas plus à l'est; son extension peut donc être considérée comme bien connue jusqu'à la

(*) La coupe de Fontaine-l'Évêque est loin d'être unique en son genre; il y a longtemps que j'ai signalé en Provence, près de Barjols, un exemple semblable, et j'avais, dès cette époque, indiqué comme conséquence que le déroulement et l'allongement du pli laissent subsister, sauf dénudation postérieure, la charnière anticlinale intacte. M. Haug a bien voulu m'indiquer qu'il a, avec M. Kilian, trouvé plusieurs cas du même phénomène dans l'Ubaye.

frontière, à part l'existence possible de petites sinuosités secondaires (voir *fig.* 6, p. 600). M. Olry (*), en figurant ce contour, a donné un nom différent à la limite nord qu'il appelle « limite méridionale du bassin principal » et à la limite sud qu'il appelle faille de Boussu ; mais ni l'une ni l'autre de ces lignes ne se continue vers l'est au delà de leur point de rencontre, et il est clair que la ligne sinueuse formée par l'ensemble des deux limites est la trace d'un seul et unique accident, la rencontre d'une des surfaces de charriage avec la surface du sol, ou mieux du Tourtia. Il est clair aussi que rien n'autorise, au sens géologique du moins, à parler d'un bassin principal et d'un bassin secondaire, qui serait le bassin de Dour. Ces deux prétendus bassins sont simplement les deux bords plus ou moins froissés d'une même grande cuvette, dont ces désignations mal comprises sembleraient indiquer la séparation en deux cuvettes distinctes par une arête saillante intermédiaire.

Où cesse maintenant du côté de l'ouest, et comment se termine ce *massif de recouvrement ?* Il est clair, d'après sa nature même, qu'il ne peut s'arrêter qu'à une faille ou à une bande continue de terrain houiller. Connaît-on quelque trace de cette faille ou de cette bande houillère ? C'est une question qu'on a dû se poser, mais que personne ne semble avoir jusqu'ici nettement abordée. Avant d'essayer de le faire, il convient de dire quelques mots de la grande faille du Midi, qui a ramené au-dessus de tout cet ensemble le dévonien inférieur ou le silurien, et dont les affleurements au Tourtia, toujours facilement reconnaissables, ont ordinairement été considérés comme marquant la limite méridionale du bassin. Il convient en effet de bien rappeler et de bien faire comprendre, avant toute discussion, que cet affleurement *est*

(*) *Bassin houiller de Valenciennes*, p. 28.

l'intersection de deux surfaces ondulées et presque horizontales, qui se suivent à peu de distance sur plus de 5 *kilomètres de largeur au-dessus de la houille*, et que par conséquent cet affleurement ne suit pas *une ligne directrice* du bassin, que les hasards de la dénudation ont pu le reporter indifféremment très loin vers le nord ou très loin vers le sud, sans qu'il y ait rien à en conclure sur l'extension plus ou moins grande du terrain houiller. Le tracé de cette faille limite est bien exactement connu en Belgique au sud des travaux de Dour ; elle est là sur toute la longueur du bassin du couchant, coupée par le plan de coupe horizontale de la carte générale des mines (à 300 mètres de profondeur), suivant une ligne *sensiblement parallèle à la direction des couches*, parallèle aussi au bord septentrional du paquet de Boussu. D'après la carte, son inclinaison moyenne est de 50 p. 100 environ ; c'est à peu près l'inclinaison constatée à Quiévrechain par les travaux de la compagnie de Crespin.

Cette inclinaison ne se continue pas sans modification du côté du nord ; car c'est évidemment la même faille qui ramène le silurien, au puits du Saint-Homme, sur le sommet du paquet de Boussu (*fig.* 1). Comme dans la coupe de Landelies, la surface de faille s'incline en sens inverse et vient de nouveau rencontrer la surface du sol. L'affleurement de la faille au Tourtia n'est donc bien, comme je l'ai dit, que l'intersection de cette surface ondulée avec la surface également presque horizontale de la base des morts-terrains.

Ceci posé, à partir de la frontière, les sondages nous montrent que cet affleurement de la faille au Tourtia se dirige vers Onnaing ; tous les sondages au sud de la ligne Quiévrechain-Onnaing ont rencontré le dévonien ; tous les sondages au nord n'ont rencontré que le calcaire carbonifère. La limite est probablement sinueuse et ondulée autour de cette ligne moyenne ; mais sa direction générale

doit être considérée comme connue. On en a déduit implicitement que le bord méridional du *bassin de Dour* allait rejoindre à Onnaing le bord méridional du *bassin de Valenciennes*, que le premier par conséquent se fermait, et que le second seul se continuait vers l'ouest. Que le fait soit exact ou non, il est clair que la donnée sur laquelle on s'appuie n'a *aucune valeur*, que la limite du dévonien, *si la coupe ne change pas brusquement à la frontière*, est une ligne quelconque tracée par les phénomènes de dénudation sur une surface à peu près horizontale, et que cette ligne ne peut donner aucun renseignement direct sur l'allure des plis et des couches de houille. La seule conclusion permise, s'il n'y a pas discontinuité entre les coupes quand on passe de Belgique en France, c'est que la dénudation de la nappe de recouvrement a été moins profonde en France qu'en Belgique.

D'ailleurs ces renseignements sur l'allure prolongée des couches de Dour, que ne peut pas donner la ligne des affleurements dévoniens, les travaux de Quiévrechain (compagnie de Crespin) nous les donnent bien clairement. La direction des couches, loin de remonter vers Onnaing, y est de 25° sud-ouest; M. Olry pense que, comme niveau, ces couches sont supérieures à celles qui constituent, en Belgique, le groupe dit de Long-Terne. Si l'on cherche quelle est en Belgique l'allure de ce groupe près de la frontière, on voit que sa trace à 300 mètres, près du puits Saint-Odile (carte générale des mines), se relève vers le nord-ouest, et que s'il continuait dans cette direction, il irait rejoindre la frontière du côté de Crespin. Nous savons qu'en réalité il doit s'infléchir vers le sud-ouest, comme les couches de Quiévrechain; mais cette inflexion même ne paraît pas, d'après les données acquises sur les autres couches, être suffisante pour le ramener au sud de Quiévrechain. Il faut donc qu'il y ait près de la frontière approfondissement des synclinaux, ou en d'autres

termes plongement des ennoyages en profondeur. Naturellement ce mouvement peut être local; il n'en est pas moins vrai que les résultats des travaux souterrains nous montrent près de la frontière le bassin de Dour tendant, non pas à se refermer ni à se réunir au bassin de Valenciennes, mais à s'approfondir et à s'infléchir vers le sud-ouest.

D'ailleurs cette inflexion vers le sud-ouest n'est pas un fait isolé; on la retrouve parallèlement dans la ligne qui borde au sud la partie exploitée à Valenciennes, et dans les plis des couches qui l'accompagnent; on la retrouve aussi dans les ondulations de la surface des terrains primaires. Il est bien évident qu'elle donne la direction vraie du bassin et de ses accidents, tandis que l'affleurement du dévonien ne donne qu'une direction fortuite et dépendant d'autres causes.

On pourrait ajouter un autre argument, peut-être plus discutable et en tout cas moins précis. La coupe schématique (*fig.* 2), conforme à toutes les coupes connues du bassin, conforme aussi à toutes celles que j'ai observées en Provence, montre que les terrains intermédiaires entre le dévonien et le houiller doivent se retrouver, en position renversée, près des charnières synclinale et anticlinale, c'est-à-dire vers l'extrémité nord et vers l'extrémité sud de la surface de charriage, tandis que dans la partie intermédiaire, où le laminage a été poussé à son maximum, le dévonien repose directement sur le houiller. Or ces trois zones peuvent à très peu près se délimiter; la première serait limitée au sud par la faille de Boussu, car le puits de Saint-Joseph et le sondage de la Chapelle à Quiévrechain ont rencontré le calcaire carbonifère, tandis que le sondage du Bureau (n° 14) a trouvé directement le houiller sous le dévonien. De même la première zone, celle où le calcaire carbonifère reparaît sous la faille du Midi, indiquant la proximité du

fond de la cuvette et de la limite de pénétration du houiller, est reconnue en Belgique (voir la carte générale des mines) jusqu'au-dessous du village de Dour ; à partir de ce point elle est tout entière masquée par le dévonien ; elle s'enfonce donc vers le sud-ouest, sans qu'aucun indice permette de présumer plus loin un retour vers l'ouest ou vers le sud-ouest.

Ainsi, de quelque côté qu'on prenne la question, tous les indices concourent à montrer que les couches de Dour et de Valenciennes se suivent parallèlement jusqu'au delà de la frontière, et que, par conséquent, d'un côté comme de l'autre, elles appartiennent à une même cuvette, dans le fond de laquelle elles se rejoignent en profondeur, malgré la barrière apparente qui existe à la surface, et que cette cuvette n'indique nulle part une tendance à se rétrécir du côté de l'ouest.

Faut-il maintenant invoquer un brusque accident, nord-sud, ou nord-ouest-sud-est, sinuosité des plis ou faille transversale, qui ramène le bord de la cuvette vers le nord, à Onnaing ou à quelque autre point de la partie exploitée à Valenciennes? Théoriquement cela est possible, mais la limite de l'affleurement du terrain houiller au Tourtia est en somme assez bien connue, et on a assez de renseignements (si incomplets qu'ils soient encore), sur l'allure des couches voisines, pour affirmer que cet accident ne les a pas affectées d'une manière sensible. Or il est tout à fait inadmissible qu'un accident tranversal qui déplace ainsi de plusieurs kilomètres toute la partie sud de la cuvette, n'ait à la limite de ce déplacement aucune influence sur les couches situées plus au nord. Quand près de Douai il y a un décrochement, ou du moins un déplacement semblable vers le nord des bords de la cuvette, tous les faisceaux de couches connus (et même les ondulations de la surface des terrains primaires) en ressentent l'influence et participent à la même direction.

On peut donc affirmer, avec une certitude aussi grande que celle d'aucune déduction d'ordre géologique, qu'un tel décrochement n'existe pas à l'ouest de Quiévrechain.

Il ne faut pas oublier pourtant que la stratigraphie de montagnes (et l'on est ici, géologiquement parlant, en pleine zone montagneuse) réserve souvent bien des surprises, et que deux inductions qui, prises isolément, semblaient toutes deux inattaquables, se sont trouvées plus d'une fois mener à des résultats contradictoires. Ce serait précisément le cas ici : car M. Olry, dans une analyse très serrée (*), a montré que toutes les galeries poussées entre Aniche et Valenciennes jusqu'à la rencontre des terrains anciens de bordure, ont trouvé, *sans faille visible*, le retour des assises de base du bassin, dépassant à peine la verticale (50 ou 60° au plus), et que par conséquent le bassin est là complet, affectant la forme d'un U incliné. Il est clair que cette conclusion semble en opposition avec celle à laquelle nous venons d'arriver par une autre voie.

En effet, d'une part on est amené à considérer le massif paléozoïque de la limite sud comme faisant partie d'une nappe de recouvrement, c'est-à-dire comme superposé à la cuvette houillère ; et d'autre part les exploitations montrent que les couches de houille les plus voisines, au lieu de continuer à s'enfoncer au sud de ce massif, se retournent et s'étalent vers le nord. La contradiction serait formelle, si l'on considérait toutes les couches de houille comme constituant un tout inséparable ; elle disparaît, si l'on admet que, comme à Landelies, il y a une distinction absolue à faire entre deux parties du terrain houiller, l'une restée en place, l'autre représentant une masse charriée. A la cuvette houillère proprement dite n'appartiendraient que les houilles

(*) *Bassin houiller de Valenciennes*, p. 21 et suiv.

exploitées *au nord du cran de retour*, et cette cuvette se continuerait en profondeur *sous l'ensemble formé des terrains de bordure et du lambeau productif de Denain*. Cela revient à considérer la faille qui sépare les deux systèmes de couches ainsi distingués (ou cran de retour), comme la prolongation de la grande surface de glissement connue sous le nom de faille du Midi, ou comme une des surfaces de glissement secondaires qui y sont liées ; cela est, je le sais, tout à fait contraire aux idées acceptées, et peu conforme en apparence avec l'allure du cran de retour, qui est presque vertical. Mais on va voir qu'un examen attentif des coupes mène par une autre voie à cette même conclusion, et que c'est au contraire l'ancienne opinion qui se heurte à des difficultés presque insurmontables.

Je rappellerai d'abord sommairement les données fournies par l'état actuel des travaux souterrains :

Le bassin de Valenciennes se divise naturellement en deux parties séparées par le *cran de retour*, la seconde comprenant des couches plus récentes que la première.

Cette seconde partie forme une cuvette (cuvette de Denain et du sud d'Aniche), accidentée de *dressants* et de *plats* plus ou moins nombreux, mais se fermant en direction, d'une part, au nord-est de Valenciennes, et de l'autre, auprès de Douai. L'âge des couches qui la composent est fixé sans ambiguïté par la flore, entre les houilles demi-grasses d'Anzin et les houilles à gaz du Pas-de-Calais ; le même niveau (zone B^3 de M. Zeiller) se retrouve à l'ouest dans le Pas-de-Calais, mais avec une composition et une succession toutes différentes.

On suppose en général que le cran de retour, à l'ouest de la région où les travaux l'ont constaté (est de la concession d'Aniche), doit continuer en ligne droite vers l'ouest. Je ne doute pas, comme je le montrerai tout à l'heure, que le cran de retour ne soit un accident lié aux

plissements, qu'il n'en suive par conséquent les inflexions et qu'il ne se relève vers le nord-ouest du côté de Douai. Sa trace serait à mes yeux marquée par la zone de brouillage rencontrée dans les galeries de l'étage 257 à la fosse Saint-René et de l'étage 281 à Notre-Dame (*). Les couches à l'ouest de ce brouillage, ne ressemblent à aucune des veines de l'autre faisceau, et sont sensiblement plus riches en gaz (26 à 34 p. 100 de matières volatiles). Les empreintes recueillies sont malheureusement, d'après une communication verbale de M. Zeiller, insuffisantes pour en fixer l'âge ; je n'en suis pas moins porté à admettre que ces couches représentent la continuation déviée (avec tout le reste du bassin) de la cuvette de Denain. Si elles sont renversées, comme le pense M. Olry, elles ne correspondraient qu'au bord méridional de cette cuvette, l'autre bord étant supprimé par l'accident que j'assimile au cran de retour.

Quoi qu'il en soit, cette cuvette de Denain présente cette particularité, que toutes les couches qui y sont connues reparaissent au sud en allure renversée, et qu'entre ces couches renversées et le calcaire carbonifère du sud, *il n'y a plus de houille*, à part une petite veine de $0^m,70$ (Louise ou Auguste), séparée des précédentes par un intervalle stérile de 200 mètres. On ne sait si cette veine est également renversée ; mais cela paraît bien probable, car la galerie de reconnaissance (niveau 210 mètres de Saint-Auguste) est restée pendant 600 mètres dans les mêmes schistes houillers stériles, et les a trouvés plongeant en parfaite concordance sous les schistes verdâtres et les calcaires compacts du calcaire carbonifère. Les mêmes couches, avec la même allure, ont été rencontrées par toutes les reconnaissances d'Azincourt à Valenciennes vers le sud du bassin ; l'analogie

(*) Olry, *Bassin houiller de Valenciennes*, p. 328-332.

va même jusqu'à l'existence à Saint-Saulve, d'une couche analogue à Louise (ou Auguste), distincte comme elle du reste du faisceau de Denain, et comme elle, superposée en apparence à un banc calcaire avec fossiles marins (*).

Les faits sont donc bien précis et bien constatés ; il n'y a aucun indice qui permette de croire que les houilles du sud du cran de retour, se retournent de nouveau pour plonger sous les terrains anciens de bordure. La cuvette de Denain est une cuvette *fermée*, dont les couches productives ne s'enfoncent pas comme celles du Pas-de-Calais, sous le calcaire carbonifère et le dévonien. J'accepte donc toutes les conclusions de M. Olry, mais avec cette réserve capitale, qu'elles s'appliquent seulement aux couches de cette cuvette, ou mieux de *ce fragment de cuvette*, et que les autres couches du nord du cran de retour doivent être considérées d'une manière tout à fait indépendante ; ce sont ces dernières seulement qui s'avanceraient bien loin vers le sud, sous la nappe de recouvrement, et qui seraient régulièrement surmontées par la prolongation du système de Dour et du Pas-de-Calais. Il est facile de voir que *cela est possible*, mais je crois de plus qu'on peut montrer que *cela est probable*, sans même s'appuyer sur les conclusions tirées précédemment d'autres considérations.

Et tout d'abord, c'est un fait bien extraordinaire que cette suppression brusque de tout le système des couches situées plus au nord. On sait qu'il y a là tout le système inférieur des charbons maigres (c'est-à-dire 700 mètres environ de schistes, avec 15 mètres de charbon), puis l'ensemble du système de la fosse Thiers, formant les zones B^1 et B^2 de M. Zeiller (c'est-à-dire plus de 1.100 mètres de schistes, avec 24 mètres de charbon) ; cette teneur en charbon paraît se continuer assez régulièrement, elle est, en tout cas, la même pour les systèmes à peu près équivalents de la fosse Thiers et de l'Escarpelle, et dans l'intervalle, où les couches inférieures de cet ensemble sont seules connues, elles montrent partout la tendance à devenir plus belles et plus régulières à mesure qu'on s'avance vers l'ouest. Vers le sud, au contraire, il faut admettre qu'il y a un rapide changement et que tout devient stérile. On a cru d'abord à une suppression des couches par failles ; mais puisque les travaux ont démontré, autant que ces sortes de démonstrations sont possibles, que ces failles n'existaient pas, il faut admettre ou que les étages inférieurs ne se sont pas étendus jusqu'au sud du bassin, ou qu'ils ne s'y sont déposés que sous forme de schistes stériles. Rien ne serait plus naturel, si le bord du bassin était suffisamment éloigné ; mais ce qui est étonnant, c'est que cette transformation si complète ait pu se faire sur un si court espace.

(*) Les fossiles ne sont signalés qu'à Azincourt, mais l'analogie n'en est pas moins frappante.

Admettons d'abord comme on le fait généralement, au moins d'une manière implicite, que le cran de retour, avec son inclinaison connue vers le sud, soit une simple faille d'affaissement, qui a permis aux terrains supérieurs de glisser sur une sorte de plan incliné. Les données nous permettent de reconstruire la coupe avant le mouvement ; il suffit de remonter la partie sud jusqu'à ce qu'elle vienne s'emboiter dans la cuvette dessinée ou amorcée par les couches du nord ; et il faut de plus que pour les différentes coupes prises le long du bassin, l'amplitude de ce mouvement soit à peu près la même, ou varie au moins d'une manière continue. En d'autres termes, on peut superposer les coupes de l'ouest d'Aniche, de l'est d'Aniche et de Denain, de manière à ce qu'elles forment une coupe unique, la première (où le faisceau demi-gras est le moins dénudé) se trouvant ainsi naturel-

lement à la partie supérieure, et la dernière au-dessous, à une certaine distance qui est déterminée par l'épaisseur connue du faisceau. C'est ce que montre la *fig.* 4 (partie droite), et l'on voit qu'alors les parties situées à gauche, c'est-à-dire les parties correspondant au faisceau de Denain, s'adaptent aussi d'une manière satisfaisante les unes au-dessus des autres. On arrive ainsi à compléter les différentes coupes les unes par les autres, et à se faire une idée plus précise de la position relative des deux faisceaux ; la ligne *aa'* marque la hauteur où il faudrait arrêter la figure pour avoir la coupe de l'ouest d'Aniche ; la ligne *bb'* donne celle de l'est d'Aniche, et la ligne *cc'* celle de Denain. Le raccordement de ces trois coupes semble exiger que la faille d'Abscon se prolonge dans la concession d'Aniche entre l'ancien faisceau gras d'Aniche et celui d'Azincourt.

Ceci posé, pour avoir la position primitive, si le cran de retour est une faille d'affaissement, il suffit évidemment de remonter la partie gauche jusqu'à ce que la cuvette de Denain vienne se superposer à celle des houilles demi-grasses d'Aniche ; c'est un glissement de plus de 2.000 mètres. Il permet de construire la *fig.* 5, dans laquelle les deux moitiés de la *fig.* 4 sont reproduites sans changement, mais différemment placées l'une par rapport à l'autre.

Cette nouvelle coupe serait celle du bassin avant l'affaissement ; elle montre alors clairement comment se serait fait le passage de la partie riche à la partie stérile. En laissant de côté le faisceau maigre, qui a pu se modifier progressivement depuis les régions où il est connu au nord-est, on voit que le faisceau demi-gras forme une cuvette, sur une branche de laquelle (du côté du nord) il conserve sans changement toute son épaisseur et toute sa richesse ; on voit même la plupart des couches se relever (Aniche et l'Escarpelle) sur l'autre branche de la

cuvette, sans indice de diminution de houille ; puis brus-

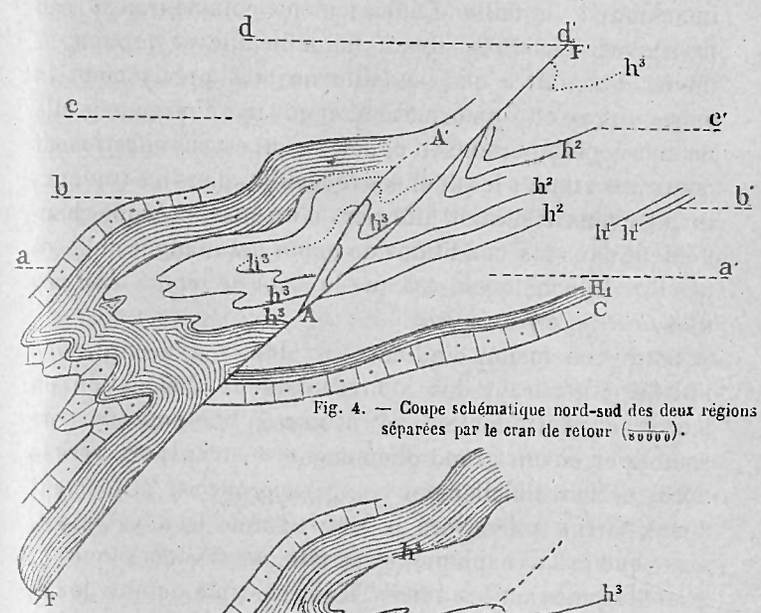


Fig. 4. — Coupe schématique nord-sud des deux régions séparées par le cran de retour ($\frac{1}{80000}$).

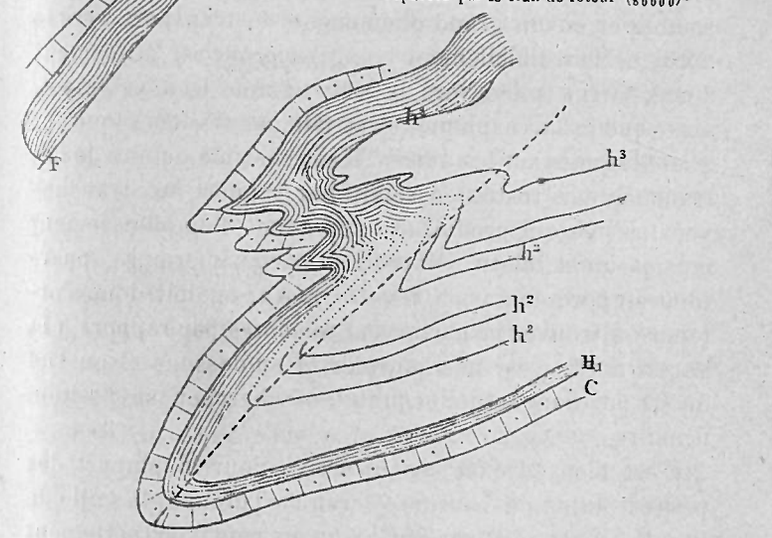


Fig. 5. — La même, après remontée de la partie méridionale.

C, calcaire carbonifère. — H_1, houille stérile. — h^1, couches de houille du faisceau maigre ; h^2, faisceau demi-gras ; h^3, faisceau gras (faisceau de Denain). — FF^1, cran de retour. — AA^1, faille d'Abscon.

quement, sur cette même branche, à moins d'un kilomètre d'intervalle on ne trouve plus que les schistes

stériles. La transformation serait brutale et comme immédiate ; la faille d'affaissement coïnciderait à peu près avec la ligne suivant laquelle elle se produit. A moins d'admettre que la faille ne soit précisément la cause de cette transformation, et que par conséquent elle ne soit contemporaine du dépôt, ce qui est manifestement contraire à toutes les données recueillies dans les travaux, on peut sans hésitation affirmer qu'un aussi brusque changement dans les conditions de dépôt est inadmissible, et dès lors la conclusion est que le *cran de retour n'est pas une faille d'affaissement*.

Cette conclusion d'ailleurs est bien en accord avec l'histoire générale des mouvements de dislocation du bassin; car cette histoire se résume en une poussée d'ensemble et en un grand phénomène de transport vers le nord, notion difficilement compatible avec le glissement d'une partie isolée vers le sud. Comme le mouvement, ainsi que je l'ai expliqué, s'est fait par tranches qui ont glissé les unes sur les autres, il est possible qu'une de ces tranches soit restée en retard par rapport aux tranches voisines, ce qui produirait l'apparence d'un affaissement (affaissement relatif). Mais ici la partie inférieure appartient au bord du bassin *resté en place;* on doit donc s'attendre à trouver la partie sud *remontée* par rapport à la partie nord, c'est par conséquent au-dessous et au sud de sa position actuelle qu'il faut chercher sa position primitive.

C'est bien en effet ce qui arrive pour la plupart des petites failles du bassin, le cran de Turenne, la faille de Rœulx; mais c'est surtout ce qu'on peut voir nettement en examinant la coupe du bassin de Charleroi. La carte générale des mines de Belgique y montre une série de failles inclinées vers le sud, et invariablement les couches du sud sont remontées par rapport aux couches du nord; le mouvement relatif qui est ainsi mis en évidence

est bien celui qui doit résulter de la poussée générale vers le nord.

Sans doute il ne serait pas impossible que, *postérieurement à ce refoulement d'ensemble*, il y ait eu des tassements avec de nouvelles failles locales, le long desquelles des glissements se seraient produits non par remontée, mais par descente des couches ; c'est le cas pour les crans de Bleuse-Borne et de la Cave (*). Mais *a priori* il est peu vraisemblable que ces tassements aient pu donner lieu à des failles d'une longueur et d'une continuité aussi grandes que celles du cran de retour; *a priori* on pouvait donc prévoir que le cran de retour est une *faille inverse* et que le long de cette faille, les couches du faisceau de Denain ont été poussées de bas en haut, du sud vers le nord.

C'est ce que je crois avoir établi directement par les considérations développées précédemment. Comment alors concilier cette conclusion avec le fait bien reconnu que les couches du sud du cran de retour sont plus récentes que celles du nord? En général, en effet, une faille inverse, ou faille qui remonte les couches sur un plan incliné, a pour résultat de les amener au-dessus de couches plus récentes qu'elles. Mais il n'en est pas nécessairement ainsi; si le plan de remontée est moins incliné *en moyenne* que celui du système resté en place sur lequel se fait le glissement, la remontée des couches supérieures aura pour effet de masquer une série de bancs intermédiaires et par conséquent de produire l'apparence d'un abaissement relatif. Il est clair, de plus, que cette condition est à la fois nécessaire et suffisante; si donc le cran de retour est une faille inverse, comme près de la surface il est plus incliné que les couches, *il faut* qu'en profondeur il se rapproche de l'horizontale, et il y

(*) Olry, *loc. cit.*, p. 201.

a là une première indication qui permet d'assimiler le cran de retour à l'accident qu'on a appelé *faille-limite*, ou d'une manière plus précise, à la faille (faille de la Tombe) qui forme la base des massifs de recouvrement de Charleroi.

On peut serrer la question de plus près en se servant des coupes successives déjà reproduites plus haut et en essayant de ramener le massif de Denain dans sa position primitive au sud de sa position actuelle. Il faut d'abord que le faisceau inférieur, qui, d'après les coupes d'Aniche, forme une première cuvette en U renversé, se retourne sur lui-même pour plonger de nouveau en profondeur, que tout le système demi-gras et gras de Denain lui succède *avec les ondulations connues à la surface*. Cela seul force à reporter le paquet à 2 kilomètres au moins vers le sud, sans même tenir compte de l'épaisseur inconnue des couches qui peuvent séparer le faisceau demi-gras du faisceau gras, ni de la largeur possible de la voûte qui séparait la cuvette de l'Escarpelle de la cuvette de fond. De plus, le méplat de la cuvette de Denain exige que la faille ait été à peu près horizontale sur un parcours équivalent, pendant lequel cette horizontalité ne contribue pas à changer la valeur de la pente moyenne, ni par suite la dénivellation. La coupe de Saint-René et de Notre-Dame, à Aniche, si je l'ai bien interprétée, montre encore que la faille allait rejoindre le fond de la cuvette synclinale, puisqu'on n'en a plus là que le bord sud renversé, appliqué contre la faille. La figure (*fig.* 3, Pl. X) tient compte de toutes ces considérations; elles mènent à donner à la faille au moins 2 kilomètres de développement horizontal et à la continuer, ainsi que le terrain productif qu'elle surmonte, à plus de 2 kilomètres au sud de la limite au Tourtia.

Il importe de le remarquer encore une fois, *ce sont là des minima*. Pour peu qu'il y ait des plis secondaires succédant à celui de l'Escarpelle, il faut accroître ces nombres en proportion. Tels qu'ils sont, ils suffisent pour bien préciser le caractère de la faille connue sous le nom de cran de retour; ce caractère est celui de la grande faille de poussée et des failles qui l'accompagnent à Charleroi, ou encore de la *faille-limite* de M. Gosselet. Le lambeau houiller que cette faille isole vient de l'ancien bord méridional du bassin. D'après ce que nous savons de l'ampleur des phénomènes de transport en d'autres points du bassin, il peut aussi bien venir de cinq ou six kilomètres que de deux, et même plus il vient de loin, plus il sera facile de comprendre et d'expliquer la différence de composition du faisceau inférieur dans ce *lambeau de poussée* et dans le bassin en place qu'il surmonte.

Ainsi, le seul examen des travaux souterrains d'Anzin et d'Aniche mène à cette conclusion que tout le paquet houiller de Denain est venu du sud de 2 kilomètres au moins et probablement de plus loin, et que la limite du bassin en profondeur s'avance au moins d'autant sous les terrains anciens. Si l'on veut bien se rappeler maintenant que l'étude comparée du couchant de Mons et de la concession de Crespin m'a amené également à conclure que la limite méridionale des terrains houillers devait se poursuivre à 5 kilomètres environ de la limite actuellement admise, on voit qu'il y a là deux séries d'arguments qui s'ajoutent, deux résultats concordants qui se confirment et que, sauf discussion sur le tracé précis de cette nouvelle limite méridionale, la conclusion doit être considérée comme au moins très probable.

Le croquis *fig.* 6 montre comment, dans cette interprétation, se raccorderaient les accidents principaux du bassin belge avec ceux du Nord et du Pas-de-Calais. L'espace barré indique les parties de la cuvette houillère masquées par la nappe de recouvrement; l'espace

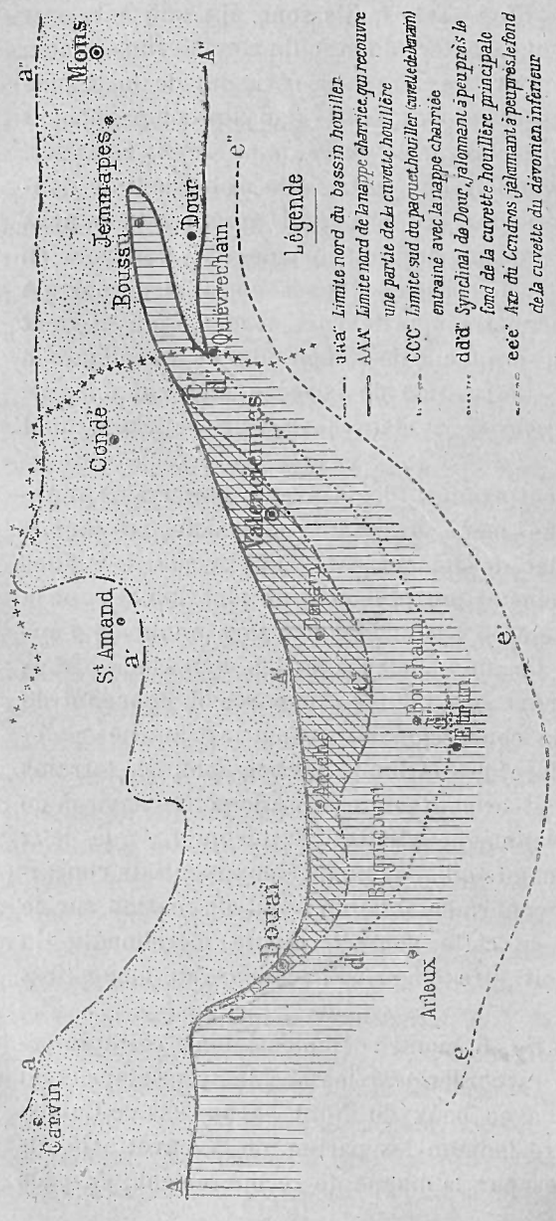


Fig. 6. — Bassin houiller du Nord ($\frac{1}{500\,000}$).

Les hachures verticales indiquent la pénétration supposée du terrain houiller sous les terrains plus anciens.
Les hachures croisées indiquent l'extension du lambeau houiller, supposé entraîné avec la nappe de recouvrement.
Les pointillés indiquent la zone d'affleurement au Tourtia des terrains houillers de la cuvette principale.

quadrillé indique celles où la nappe de recouvrement est elle-même formée par un grand lambeau de terrain houiller productif (cuvette de Denain). Ce croquis fait ressortir un nouvel argument, tiré de la continuité : si la faille qui limite au nord le paquet de Boussu se continuait en France, comme on le suppose ordinairement, par la limite du bassin houiller (limite de l'affleurement au Tourtia du terrain houiller), elle changerait complètement d'allure et de rôle en pénétrant en France : au lieu d'une énorme suppression de terrains, elle ne montrerait plus qu'une succession continue et régulière dans la série des couches; au lieu de s'étendre à peu près horizontalement vers le sud (faille de Boussu), elle n'aurait plus de ce côté qu'un court et léger plongement pour se retourner brusquement vers le nord. Ce ne sont pas évidemment deux lignes comparables ; leur raccordement n'est qu'une fiction. D'autre part, un accident comme celui de Boussu ne peut cesser brusquement; la ligne qui le limite au nord doit, elle aussi, être continue et le cran de retour est le seul accident qui s'offre pour la continuer. L'explication que j'ai proposée pour le cran de retour est la seule qui n'entraîne pas une complète discontinuité entre les coupes belges et les coupes françaises.

Il me reste pourtant à mentionner deux objections possibles. La première est relative à la composition du faisceau de Denain. Si ce faisceau fait partie de la nappe de recouvrement, il vient du bord méridional de la cuvette. Les changements de faciès étant généralement peu rapides quand on se déplace en direction, on devrait s'attendre à trouver une composition semblable dans les couches de même âge du bassin de Dour qui, elles aussi, appartiennent au bord méridional de la cuvette. La flore du bassin belge n'a pas encore été soumise à une étude méthodique ; mais on sait *stratigraphiquement* que le groupe de Long-Terne équivaut aux couches de Quiévre-

chain, et les empreintes recueillies dans ces dernières leur assignent nettement l'âge du faisceau récent du Pas-de-Calais. On ne peut donc guère faire correspondre au faisceau de Denain que les couches demi-grasses de la base du bassin de Dour (entre les couches Massets et Grand-Bouillon). Or, il est certain qu'il n'y a entre ces deux systèmes aucune analogie : l'épaisseur du faisceau et le nombre des couches sont bien plus considérables à Denain; la qualité des houilles n'est pas la même; dans la partie stérile de la base, on ne retrouve pas le poudingue houiller si caractéristique à Mons; ce sont là sans doute autant d'objections, dont on peut différemment apprécier la valeur. Ce ne sont pas sans doute des changements plus considérables que ceux qu'on est en droit de supposer dans un intervalle de 20 kilomètres; ce sont pourtant des variations exceptionnellement rapides. Elles seraient bien plus facilement admissibles même pour un moindre intervalle, si on s'était déplacé *normalement à la direction*, et c'est peut-être dans ce sens qu'il faudrait chercher l'explication de la difficulté; il est en effet très admissible théoriquement que le lambeau de Denain, tout en venant du sud, ne vienne pas de l'extrême limite du bassin.

Une seconde objection m'a plus longtemps embarrassé; je crois cependant maintenant qu'on peut y répondre d'une manière plus complètement satisfaisante. D'après ce qui précède, le paquet de Denain serait l'extrémité de la masse charriée vers le nord et correspondrait à cette partie où j'ai dit que théoriquement la charnière anticlinale se reconstitue avec toutes les couches qui l'enveloppaient primitivement. Dans cette partie, comme le montre la coupe schématique (*fig.* 2), les terrains devraient donc être renversés, non pas seulement en quelques points par suite des froissements secondaires, mais dans leur ensemble; dans les parties qui se

replient en ∪, les couches les plus anciennes devraient être au centre; dans celles qui se recourbent en ∩, les plus récentes devraient former le noyau. Or, on sait que la nature différente du toit et du mur permet en général de juger sans ambiguïté si un faisceau de couches est renversé ou non. Ce criterium montre ici que la cuvette de Denain est *une cuvette normale*, dont le centre est bien occupé par les couches les plus récentes du faisceau.

Cette difficulté s'explique si l'on suppose simplement que la voûte anticlinale n'est pas une voûte simple, mais une voûte formée par un double repli, comme le montre le croquis ci-joint (*fig.* 7). Mais il y a une preuve bien

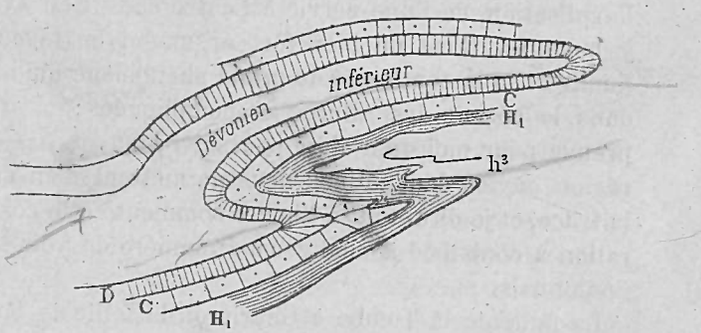


Fig. 7. — Rétablissement hypothétique de l'extrémité du pli couché, à Denain.

D, dévonien supérieur. — C, calcaire carbonifère. — H, houiller stérile. — h^3, couches de houille (faisceau gras).

plus décisive, qui empêche en tout cas de s'arrêter à cette objection; c'est que dans la coupe même que j'ai prise pour type au début, dans la coupe de Landelies, où l'interprétation n'est pas douteuse, puisque les couches ont été exploitées au-dessus et au-dessous de la faille qui correspond au cran de retour (faille de la Tombe), *les choses se passent exactement de la même manière qu'à Denain;* là aussi le noyau de la voûte anticlinale a été entraîné des bords du bassin au-dessus de sa partie médiane, amenant avec lui un paquet de terrain houiller

productif; là aussi, dans ce paquet ainsi venu du sud, les couches houillères sont renversées près du calcaire carbonifère, et elles se remettent en position normale quand on s'en éloigne. L'explication par un double repli de la voûte anticlinale n'a même plus rien d'hypothétique, car l'exploitation a suivi toutes les sinuosités des couches.

C'est une chose bien curieuse et bien remarquable de voir, malgré la distance et malgré les apparences différentes, toutes les particularités de la coupe de Charleroi se reproduire dans celle du bassin de Valenciennes, si l'on adopte la nouvelle interprétation que je propose, et l'explication de l'une servir à l'autre sans rien avoir à y modifier. C'est un bien fort argument en faveur de l'unité et de la continuité du grand phénomène qui a créé dans la région des allures si compliquées; c'est une preuve pour moi qu'il s'est poursuivi bien au delà de la région où les dénudations nous permettent d'en suivre la trace, et je dirai tout à l'heure comment cette considération a contribué à changer ma manière de voir sur le Boulonnais.

La faille de la Tombe à Charleroi, la faille de Boussu à Mons, le cran de retour à Anzin, ne sont qu'un seul et même accident. Après les explications qui précèdent, la meilleure manière de mettre le fait en évidence est de tracer, avec les données combinées des trois bassins, une coupe schématique unique, et de montrer qu'il suffit de déplacer la surface du sol (c'est-à-dire la surface de dénudation) pour que cette même coupe représente à volonté celle de Charleroi, de Mons, du Nord ou du Pas-de-Calais. Il y a bien naturellement des différences locales, dues à l'accentuation plus ou moins marquée de plis ou de failles secondaires; mais il est probable que ce sont les mêmes plis principaux qu'on retrouve dans toutes ces coupes (plis de Vieux-Condé, de Vicoigne, d'Aniche et de

l'Escarpelle, et enfin pli de Dour et du couchant de Mons); en tout cas toutes les allures si variées du bassin franco-belge, tous ses accidents complexes peuvent dériver *d'une coupe unique;* c'est cette coupe que j'ai essayé de représenter (*fig.* 3, Pl. X). La figure 4 de la même planche indique la hauteur à laquelle il faudrait l'arrêter pour obtenir les coupes les plus typiques de toute la région entre Liège et Fléchinelle.

Cette nouvelle manière d'envisager la géologie du bassin de Valenciennes aurait pour conséquence d'augmenter tout le long du bassin, d'une bande de 5 kilomètres de largeur, la surface sous laquelle existe le terrain houiller dans le département du Nord; elle mène de plus à supposer que, sous le faisceau déjà exploité au sud du cran de retour, les faisceaux du nord existent avec toute leur richesse, à une profondeur probablement moindre qu'on n'aurait pu le supposer. Cette profondeur doit pourtant être encore trop grande pour qu'il y ait actuellement aucun profit à en attendre, et il est à craindre que nulle part la surface de charriage (*la faille du Midi* ou celles qui l'accompagnent), ne se relève assez du côté du sud pour ne plus former qu'un manteau que des sondages de recherches ou des puits d'exploitation puissent traverser avec succès. Si ce relèvement a lieu, on peut prévoir par continuité que c'est au-dessus de la ligne que j'ai appelée pli de Dour et dont j'ai indiqué au début la position rectifiée. C'est à l'aplomb de cette ligne que, d'une part le manteau de recouvrement aura chance d'être le moins épais, et surtout qu'il aurait chance d'être formé uniquement de dévonien, sans calcaire carbonifère sous-jacent, et par conséquent sans grands niveaux aquifères au-dessus de la houille supposée.

En attendant, c'est des travaux de la concession de Crespin qu'on peut, dans l'avenir, attendre quelques nouveaux éclaircissements. Ces travaux ne sont encore arrivés

qu'à 600 mètres de la frontière belge ; mais sur cet espace les couches conservent bien la direction sud-ouest qui, si elle se continue, doit les faire passer plusieurs kilomètres au sud de Valenciennes. Je suis persuadé qu'on ne trouvera pas de ce côté les couches arrêtées ou déviées par un accident transversal dont rien n'indique l'existence ; le champ d'exploitation possible ne doit pas être limité, comme on l'a supposé, à un triangle, ou mieux à un prisme plus ou moins étroit ; il doit s'étendre aussi au nord et au nord-ouest, mais à une profondeur plus grande et dans des conditions moins favorables (présence du calcaire carbonifère). Le développement naturel des travaux amènera donc à montrer si le *synclinal de Dour*, tel que je l'ai tracé et avec les modifications que j'ai indiquées plus haut, est bien *une ligne directrice* de notre bassin houiller.

Conclusions. — Les conclusions de cette étude sont résumées dans la coupe schématique du bassin, applicable comme je l'ai dit à ses différentes parties suivant le degré de dénudation. Elles tendent à montrer que les phénomènes considérés comme exceptionnels dans la région franco-belge (accident de Landelies, accident de Boussu), sont au contraire la conséquence normale de sa structure, et qu'ils se retrouvent partout ou la dénudation n'a pas été trop profonde, partout soumis aux mêmes lois et susceptibles des mêmes explications. Les coupes comparées des exploitations du Nord prouvent que le bassin s'enfonce de plus en plus quand on va de l'ouest vers l'est, de Valenciennes vers Douai (il est assez remarquable que la teneur en matières volatiles des mêmes couches semble aller en croissant au fur et à mesure de cet enfoncement). La région d'Aniche est, pour cette seule raison, celle où *théoriquement* les masses de recouvrement ont dû être conservées avec leur plus grande épaisseur, et ce serait précisément parce que dans toute

la région du Nord ces masses forment un manteau particulièrement épais, que leur position vraie par rapport au terrain houiller s'est trouvée plus profondément dissimulée et n'a pu être reconnue par les travaux souterrains, comme elle l'a été à Mons et à Landelies. Il faut avoir recours, d'abord à la continuité, puis surtout à l'interprétation géologique des faits de détail recueillis dans les diverses mines, pour voir le problème se poser sous un nouveau jour, et pour admettre que les apparences si nettes d'affaissement au sud du cran de retour et de fermeture de la cuvette méridionale, ne sont que des apparences trompeuses. J'avoue d'ailleurs très volontiers qu'il serait très naturel de préférer croire à ces apparences, plutôt qu'aux raisonnements, qui peuvent être également trompeurs en semblable matière, si le résultat auquel on arrive ainsi n'était pas identique à celui qui, grâce à M. Briart, est maintenant mis hors de doute à Charleroi, et s'il ne menait pas ainsi à l'*unification du bassin*.

Les arguments que j'ai essayé de développer, et qui m'ont mené, indépendamment les uns des autres, à la même conclusion, sont les suivants :

La forme de la surface des terrains primaires reproduit fidèlement, au moins comme direction, les principaux accidents de ces terrains : or cette surface montre, au-dessus des masses de recouvrement incontestées de Boussu, une saillie qui se poursuit sur tout le bord sud du bassin de Valenciennes.

Le bassin de Dour, en Belgique, n'est pas à proprement parler un bassin distinct, mais seulement le bord d'une grande cuvette, au centre de laquelle le paquet carbonifère et dévonien de Boussu est superposé aux couches houillères les plus récentes. Les terrains exploités à Dour ne montrent, en arrivant en France, aucune tendance à se rapprocher du sud du bassin de Valenciennes, ni à se

rapprocher de la surface pour faire place aux terrains primaires sous-jacents; ils s'infléchissent au contraire vers le sud-ouest, parallèlement avec la direction des couches et des accidents des environs de Valenciennes, et les lignes d'ennoyage tendent à s'enfoncer plus profondément vers l'ouest. Tout porte donc à croire que les couches de Dour se poursuivent en profondeur parallèlement aux bords du bassin jusqu'ici reconnu et exploité, jusqu'à 5 kilomètres environ au sud de ce bassin.

Le cran de retour n'est pas une faille d'affaissement, ce qui d'ailleurs serait difficilement compatible avec la poussée générale vers le nord qui a été la cause générale des accidents du bassin. En effet, si le cran de retour était une faille d'affaissement, on ne trouverait pas, en reportant les couches de Denain à leur position primitive, l'intervalle nécessaire pour expliquer le passage latéral entre la composition si différente des zones inférieures au nord et au sud du cran de retour. Le massif de Denain, qui ne se continue ni à l'est d'Anzin, ni à l'ouest (nord-ouest) de Douai, est donc un massif venu du sud, et pour expliquer son transport à sa position actuelle, il faut que le cran de retour devienne en profondeur, sur au moins 2 kilomètres de longueur, une faille à peu près horizontale. Le fond du bassin se trouve ainsi reporté au moins de 2 kilomètres vers le sud, et c'est là une mesure minima du déplacement subi. Rien n'indique dans cette interprétation de la coupe de Denain, si c'est à 2, plutôt qu'à 5 kilomètres ou même plus, que le paquet du sud du cran de retour a été arraché, et le terrain houiller doit encore exister en place au moins jusqu'à la même distance vers le sud.

L'accord de ces conclusions entre elles, la conformité de la coupe qui en résulte avec celle de Charleroi, deviennent de nouvelles preuves ou au moins de nouveaux arguments en faveur de la loi que je me suis précédemment attaché à démontrer, c'est-à-dire en faveur de l'existence d'un lien étroit entre la forme de la surface des terrains primaires et le réseau des plis paléozoïques. C'est seulement à l'aide de cette loi qu'on peut préciser les conséquences des déductions précédentes : la ligne que j'ai appelée pli de Dour est une ligne directrice du système des plis anciens, elle doit donc marquer sur tout son parcours, comme à Quiévrechain, la zone où les terrains renversés sont supprimés ou au moins très réduits à la base de la nappe de recouvrement, c'est-à-dire la zone où cette nappe a chance d'être le moins épaisse et où le calcaire carbonifère peut ne pas exister entre le dévonien et le houiller.

II. BOULONNAIS.

Ainsi que je l'ai dit en débutant, mon premier essai de raccordement entre les plis du Boulonnais et ceux de la région houillère de l'est doit être modifié et revisé, parce que les données qui m'avaient servi de base ont été elles-mêmes profondément modifiées par les nouveaux travaux de M. Parent. Le problème, qui se présentait d'abord comme assez simple, se montre maintenant beaucoup plus complexe, parce que les courbes de niveau de M. Parent, suivies avec beaucoup de soin et sans idée préconçue, semblent indiquer pour les plis de la craie des allures très sinueuses qu'il devient malaisé de dégager avec certitude.

Quand tous les plis se suivent parallèlement et à peu près en ligne droite, les indentations des courbes de niveau s'emboîtent les unes dans les autres, les lignes de points bas et de points hauts s'accusent avec évidence et si, en quelque point, une des ondulations s'abaisse et devient moins marquée, la connaissance des ondulations parallèles permet sans grande chance d'erreur de sup-

pléer à cette lacune. Quand, au contraire, les plis sont sinueux, les inflexions des courbes de niveau peuvent être dues à ces sinuosités et se confondre avec celles qui sont dues à l'existence même des plis. De plus, ces zones de sinuosités semblent souvent celles où les plis anciens se répercutent le plus faiblement à la surface, tandis qu'au contraire le réseau perpendiculaire y prend plus d'importance. Il en résulte qu'il y a souvent indétermination dans le raccordement des différentes lignes et que la moindre erreur dans le tracé des courbes de niveaux utilisées peut conduire à des interprétations très éloignées de la vérité.

Si la loi invoquée était rigoureusement exacte, on pourrait en partie éliminer ces incertitudes dues à l'insuffisance des données, en s'astreignant à une plus grande rigueur dans l'interprétation des courbes, en rejetant toute solution qui ne tient pas compte de toutes leurs sinuosités, qui ne met pas les plis exactement perpendiculaires à ces lignes et qui n'aboutit pas à deux systèmes de plis rigoureusement orthogonaux. C'est ce que j'ai essayé de faire dans les nouvelles études auxquelles je me suis livré, et j'ai trouvé en général qu'on pouvait satisfaire à ces conditions, sans avoir d'écarts sensibles à l'échelle des cartes employées (le millionième ou le cinq-cent-millième). En d'autres termes, non seulement le raccordement des parties où les plis sont nettement accusés peut se faire facilement, en donnant naissance à un double réseau orthogonal ; mais il peut se faire en satisfaisant pour les parties intermédiaires à des conditions étroitement définies.

Il est pourtant incontestable qu'il y a en certains points des plis qui viennent se rapprocher ou même se rencontrer avec des directions très obliques l'une sur l'autre. Ces contradictions apparentes me paraissent rentrer dans deux ordres de phénomènes, dont j'ai trouvé des exemples de plus en plus nombreux, aussi bien dans les Alpes que dans le Plateau central ou dans le Boulonnais : d'une part, les sinuosités des plis vont jusqu'à créer de véritables rebroussements et, d'autre part, certains plis s'ouvrent pour entourer des massifs ordinairement saillants, des sortes de lentilles amygdaloïdes, elles-mêmes accidentées de plis importants qui ne se continuent pas au delà de la lentille.

Je crois qu'en partant de ces principes et en se servant des courbes de niveau tracées par M. Potier et par M. Parent autour du Boulonnais, ou par moi-même à l'intérieur du Boulonnais, on peut arriver à une solution satisfaisante. Sans doute, en dehors même des incertitudes qui peuvent rester sur les détails des courbes employées, il en reste aussi dans l'interprétation, et la meilleure preuve en est que, d'après ces mêmes documents, MM. Parent et Dollfus ont déjà proposé des solutions différentes, desquelles, à mon tour, je m'écarte en partie. La mienne a du moins l'avantage de raccorder entre elles d'une manière satisfaisante les différentes données acquises sur les terrains primaires ; elle permet en outre de faire rentrer la coupe du Boulonnais dans le schéma général autour duquel j'ai déjà montré qu'on pouvait coordonner les autres parties du bassin houiller.

Quant à la solution que j'avais autrefois proposée, et qui ramenait trop au sud la limite possible du terrain houiller, elle se trouve naturellement modifiée en même temps que les données sur lesquelles je l'appuyais et je l'abandonne complètement (*).

Je prendrai pour point de départ la saillie bien accusée que forment les terrains crétacés au nord du bassin du Pas-de-Calais, de Pernes à Fléchin : M. Parent pense qu'elle

(*) On verra pourtant que la différence n'est pas très grande ; l'anticlinal de bordure se trouvant seulement reporté de 5 kilomètres vers le nord.

se dirige au sud du Boulonnais, tandis que M. Dollfus la fait remonter vers le nord; il y a en effet deux anticlinaux différents avec lesquels peut se faire le raccordement. Mais si l'on tient compte de la forme du plateau saillant de Radinghen et de Dennebrœucq, avec les pointes saillantes de ses quatre extrémités, on doit, je crois, y voir la trace du passage de deux anticlinaux distincts, l'un suivant le bord septentrional, l'autre le bord méridional de ce plateau quadrangulaire, et entre les deux il y aurait l'indication d'un synclinal peu accusé. Vers le sud-est, l'anticlinal supérieur se poursuit sans difficulté jusqu'à Houdain; quant à l'anticlinal du sud, j'avais cru d'abord son passage marqué au-dessous d'Houdain par les sinuosités de la courbe 150 (courbe de M. Potier); mais M. Parent, auquel j'en ai écrit, a bien voulu me prévenir que cette sinuosité était à peine indiquée et qu'il lui semblait difficile d'y voir la trace du passage d'une ondulation même faiblement accentuée. D'un autre côté, en adoptant ce point de départ et en traçant, comme je le dirai plus loin, le réseau complet des plis, il devenait impossible d'y trouver une place pour la dépression bien marquée qui passe à Heuchin et suit au nord-est la haute vallée de la Lys. Cette double considération, l'une de fait, l'autre théorique, m'a fait adopter un second tracé qu'un examen attentif montre d'ailleurs être mieux en conformité avec le dessin des courbes de M. Parent : il y a trois plis manifestes, l'anticlinal de Fléchinelle et l'anticlinal de la Lys de M. Parent, et entre les deux le synclinal d'Heuchin, qui viennent à peu près parallèlement aboutir en face du plateau saillant de Radinghen; les deux anticlinaux doivent en suivre le bord nord et sud et le synclinal correspondre à la dépression médiane peu accusée qui les sépare. L'anticlinal du nord est celui qui borde au sud le bassin houiller du Pas-de-Calais, celui qu'on désigne ordinairement plus spécialement sous

le nom d'*axe de l'Artois*, et qui s'est superposé à l'ancien axe du Condros. Notre réseau de plis se trouve ainsi orienté dès l'origine par rapport aux accidents anciens.

Si maintenant nous poursuivons vers l'ouest, l'anticlinal du sud se continue sans incertitude par le bombement de Herly et de Bimont; la prolongation des deux autres plis est beaucoup moins évidente. Un seul pli s'offre maintenant pour continuer l'axe de l'Artois, c'est celui qui sépare la Lys de l'Aa, et sa direction aberrante, déviée de plus de 90 degrés, peut amener quelque hésitation. Il n'y a pourtant pas d'autre solution possible, si l'on adopte le point de départ précédent.

Quant au synclinal intermédiaire, peu visible naturellement sur le plan fortement incliné que forment les couches au nord-ouest du plateau de Radinghen, il va se fondre dans le fossé semi-circulaire qui entoure le sud du Boulonnais, et que M. Parent a désigné sous le nom de synclinal de l'Aa. On ne peut dire alors si notre synclinal se dirige vers l'ouest ou remonte vers le nord; il y a complète indécision, ou, pour mieux dire, il y a *bifurcation*.

Jusqu'à l'année dernière, je n'avais pas observé dans les Alpes de synclinaux nettement bifurqués, et j'étais alors peu disposé à admettre le fait dans les ondulations moindres des pays de plaine, dont le tracé contient toujours une part d'interprétation. M. Dollfus m'avait pourtant dit arriver d'une manière presque certaine à cette conclusion pour certains points du bassin de Paris, et les courbes de M. Parent semblaient bien aussi l'imposer pour le Boulonnais. Les exemples que j'ai observés dans les Alpes ont fait disparaître mon ancienne objection, et, avec elle, les difficultés qui m'arrêtaient : si notre synclinal médian se bifurque pour entourer le Boulonnais, la déviation vers le nord de l'axe de l'Artois en devient une conséquence toute naturelle et même nécessaire.

M. Dollfus, il est vrai, sans contester les courbes de M. Parent, a nié la réalité du synclinal de l'Aa, en attribuant la dépression observée à des glissements sur les pentes de la vallée. Il suffit de remarquer que près de Fauquembergue la dénivellation indiquée dépasse 100 mètres pour comprendre que cette explication par un glissement local est inadmissible. Le synclinal de l'Aa, tel qu'il est figuré, est peut-être le mieux marqué de toute la région; si l'on en fait abstraction pour s'attacher à ceux qui n'ont pas laissé de traces bien nettes sur nos courbes incomplètes, il faut évidemment renoncer à l'emploi de ces courbes comme élément de recherche et de discussion.

Si les courbes de M. Parent sont exactes, ce que j'admets pleinement, le synclinal de l'Aa est incontestable et son importance théorique est considérable : car *il isole le Boulonnais du reste du réseau.* Il m'a frappé dès le début plus que tout autre, parce qu'il mettait à néant mon ancienne hypothèse. Tant que je n'ai pas admis la bifurcation des plis, j'ai vainement cherché à le rattacher au reste du réseau. C'est maintenant à mes yeux une raison de plus pour admettre l'analogie avec les phénomènes alpins, et pour accepter les conséquences qui en découlent. Du moment qu'il existe dans les chaînes tertiaires des noyaux ou glandules saillants, qu'entourent complètement les deux branches momentanément bifurquées d'un même synclinal, il devient probable que le même phénomène a dû se produire dans les anciennes chaînes, et, puisque les ondulations des terrains récents superposées à ces chaînes dénudées reproduisent le dessin des plis anciens, on doit là aussi en retrouver la trace. L'allure aberrante du pli de l'Aa s'explique alors facilement; le synclinal sud-est, qui vient se bifurquer près de Fauquembergue, est, il est vrai, à peine marqué; il s'est accentué au contraire dans la partie où il formait ceinture

au Boulonnais. Mais ces traces incomplètes et intermittentes sont suffisantes pour le rattacher au reste du réseau et pour donner l'explication de son allure, explication qui devient évidente du moment qu'elle est possible, parce qu'on n'en voit même pas d'autre à proposer.

D'ailleurs l'existence des massifs amygdaloïdes semble, quand on y réfléchit, une conséquence naturelle de l'accentuation progressive des efforts de plissement. Ces efforts, autant qu'on peut les analyser, produisent une tendance des masses comprimées en profondeur à venir chercher au dehors la place qui leur manque à l'intérieur. Ces masses s'élèvent d'abord *là où la voie est tracée*, c'est-à-dire sur l'emplacement des plis déjà ébauchés; puis quand, par suite soit de l'obstruction qu'elles amènent en s'entassant, soit de la compression plus grande, ces sortes de débouchés deviennent insuffisants, elles s'élèvent partout où *la voie est libre*, c'est-à-dire partout où la surface n'a pas encore subi les influences de compression et de tassement. Ces points nouveaux sont évidemment les centres des anciens synclinaux, où les couches sont restées horizontales sur une assez grande largeur; les pressions forcent alors des plis nouveaux à se dresser au milieu de ces synclinaux et à les subdiviser en compliquant le premier réseau. Mais là où, au lieu d'un large synclinal, il y avait un synclinal localement élargi, les conditions de résistance étaient les mêmes; les matières profondes s'y sont élevées de la même manière, et, d'après la forme de l'espace qui leur était offert, elles ont créé, au lieu d'un anticlinal allongé, une saillie limitée en forme de dôme ellipsoïdal. La création des massifs amygdaloïdes est donc un phénomène de même ordre et dû aux mêmes causes que la subdivision progressive des plis; il est la conséquence de la disposition des lignes de plis en parties étranglées et renflées, en nœuds et en ventres, disposition dont j'ai déjà signalé la généralité,

et dont la raison première semble être la tendance de la terre à conserver son ellipticité. Ainsi, sans entrer dans de plus longs développements et sans prétendre donner à l'explication une apparence de rigueur que nos connaissances géologiques actuelles ne comportent pas, on conçoit que le phénomène dépend des causes générales et doit par suite, dès qu'il existe, avoir une certaine généralité.

Le Boulonnais est, en partie au moins, un de ces massifs qui ont rempli la partie élargie d'un ancien synclinal; à l'époque du plissement énergique subi par la région, c'est-à-dire à la fin de la période houillère, les terrains anciens se sont donc élevés sur son emplacement et y ont formé un dôme saillant. C'est par conséquent une des parties qui ont été le plus profondément dénudées, et la chance d'y retrouver les terrains houillers est à peu près nulle. Cela est vrai du moins pour la portion du Boulonnais comprise entre les deux branches du synclinal de l'Aa. On voit donc quelle importance présente ce synclinal et quel intérêt il y a à en suivre la continuation.

Malheureusement cela est difficile; les plis que nous venons d'examiner s'atténuent bientôt vers le nord, et il faut avouer qu'il n'y a plus dans les sinuosités de différentes courbes de niveau d'éléments suffisants pour en déterminer avec certitude le prolongement. M. Parent a tracé un réseau; M. Dollfus a critiqué ce tracé, en même temps que celui que j'avais proposé ici même. Il croit pour sa part, d'après des raisons d'ordre général, que l'axe de l'Artois (limite sud probable du houiller) passe au nord du Boulonnais.

J'ai déjà dit que j'abandonnais mon ancienne solution, ce qui est naturel, puisque les données ont changé. Je n'ai pas à défendre non plus le tracé de M. Parent, qui certainement aurait en tout cas des modifications de détail à subir. L'hypothèse de M. Dollfus n'aurait rien

d'invraisemblable si l'on se bornait à considérer les courbes de niveau crétacées; mais comme au fond ces courbes ne donnent rien de précis dans cette partie, il faut, je crois, s'aider des renseignements, directs ou indirects, acquis sur le primaire, et je crois que ces renseignements mènent plutôt à une hypothèse un peu différente. Tout cela ressortira de la discussion qui va suivre; mais la question sur laquelle je voudrais d'abord insister ici est la question de méthode; c'est à elle surtout que j'attache de l'importance, et c'est sur elle que je ne suis pas tout à fait d'accord avec M. Dollfus.

M. Dollfus fait remarquer que l'ensemble des courbes de niveau dessine une remontée évidente au nord de l'axe primaire (pour ne pas trancher la question avant de la poser, il aurait fallu dire : au nord du Boulonnais), et qu'elles reprennent la direction nord-ouest de l'Artois après une double courbure, après une sorte de décrochement au nord d'une dizaine de kilomètres. Cela est bien exact, à partir au moins du coude de l'Aa, et M. Dollfus en déduit que, la pente principale étant partout normale à cette direction, cette direction est celle des plis, qui partagent toutes ces sinuosités. Cela est très plausible, et cela serait vrai en effet, si l'ancien noyau amygdaloïde n'avait rejoué d'une manière spéciale, comme le montre bien la surélévation locale du jurassique, comme l'a fait le Weald (*), où le crétacé est surélevé en dôme de la même manière. L'exhaussement de ces dômes a eu pour résultat de créer, tout autour d'eux et à partir d'eux, une brusque plongée, qui peut s'étendre sur l'emplacement de plusieurs plis, et par laquelle ces plis se trouvent dissimulés. Il est bien vrai qu'à distance les plis entourent le dôme et reproduisent à peu près sa forme extérieure; mais quand ce sont les plis les plus voisins qu'il faut

(*) *Bull. Soc. géol.*, 3e série, t. XX, p. 133.

examiner, quand la question qui se pose est de savoir si ces plis vont passer au haut ou au bas de la pente, on n'a plus le droit de négliger les détails; ils peuvent être insuffisamment connus, mais eux seuls peuvent donner la solution.

« Il n'y aurait pas, dit M. Dollfus, d'orientation possible à découvrir dans les plis, si on devait s'arrêter et se détourner à chaque trouble secondaire; les coupes menées dans la direction de la ligne de plus grande pente permettent d'écarter les détails. » C'est cela surtout que je veux relever, parce que là surtout est le danger de la voie qu'avec d'autres j'essaie de suivre en géologie. L'étude de ces ondulations peu accentuées n'a de valeur que si on ne néglige pas les quantités de même ordre que celles qu'on veut évaluer; elle n'aura d'utilité que si elle mène à étudier de plus près les détails. Beaucoup d'erreurs sont inévitables dans cette voie, à cause de la difficulté d'avoir des données assez précises; c'est pour cela justement qu'il faut « s'arrêter et se détourner à chaque trouble secondaire », parce que ces troubles secondaires s'expliqueront naturellement si on est dans le bon chemin, et que c'est eux en cas contraire qui avertiront qu'on a fait fausse route. Le moyen de « parvenir à des considérations synthétiques » n'est pas de négliger les détails, mais de les bien interpréter.

Je reviens, après cette digression, à l'étude du pli d'Aa et de l'anticlinal qui l'accompagne jusqu'à Avroult. Il convient d'y joindre le synclinal de Fléchinelle qui s'accuse sur l'emplacement même du bassin houiller avec un autre pli anticlinal (pli de Bruay) entre les courbes 0 et 50 de M. Parent. D'après leur direction et d'après l'espacement à peu près uniforme de ces deux lignes de niveau sensiblement rectilignes, ces deux plis doivent se continuer dans leur intervalle au moins jusqu'à la Lys, près de Delette. Ces courbes sont précisément celles

entre lesquelles viennent s'effacer les deux plis de l'Aa et d'Avroult; il y aurait là entre ces deux courbes très rapprochées quatre plis qui viennent se réunir (*), conformément au dessin ci-joint (*fig.* 8). Que deviennent ces plis plus au nord? La question a de l'importance; car c'est l'un d'eux certainement qui représente la ligne directrice du synclinal houiller. La thèse de M. Dollfus revient à dire : l'un d'eux (axe de l'Artois) remonte au haut de la pente pour passer à Caffiers, les autres redescendent au bas de la pente du côté de Guines. Cela est possible, mais si l'un remonte ainsi, pourquoi les autres ne remontent-ils pas avec lui? La chose valait la peine d'être discutée, et si M. Dollfus l'avait fait, il aurait peut-être conclu dans le même sens (car on ne peut invoquer que des probabilités, et non des preuves); mais je crois qu'il aurait été moins affirmatif.

Fig. 8.

Un premier examen montre que les courbes de niveau ne donnent rien et ne peuvent rien donner; exactes dans leur ensemble, elles sont évidemment un peu schématisées et n'ont plus la *sensibilité* nécessaire pour des indications de cet ordre de grandeur. Je serais assez porté à croire que le tracé des cours d'eau est un indicateur plus sensible; ce n'est pas sans raison que l'Aa s'est détournée entre Remilly et Lumbres et qu'elle remonte la pente générale des terrains crétacés; cela s'explique si l'anticlinal d'Avroult (ou celui de Bruay) venait passer à Lumbres et formait barrière; cela ne s'explique guère autrement. Il y aurait donc là une indication assez sé-

(*) La réunion momentanée de ces quatre plis déviés vers le nord pourrait encore être considérée comme équivalant pratiquement à une faille de décrochement.

rieuse tendant à montrer que deux au moins de nos quatre plis, à savoir le synclinal périphérique du Boulonnais et l'axe de l'Artois, remontent dès ce point au haut de la pente et reprennent une direction nord-ouest. Pour les deux autres, il y a complète incertitude; dès que l'Aa a pu franchir la petite barrière de Lumbres, elle a repris la ligne de plus grande pente sans qu'il soit nécessaire d'invoquer l'existence d'un synclinal, et il n'y a rien d'étonnant à ce que, sur cette pente, le pli atténué de Bruay, si elle a eu à le traverser, ait été insuffisant pour la dévier.

Il faut donc, pour aller plus loin, avoir recours à l'étude des terrains primaires. Nous avons mené notre pli d'Avroult (c'est-à-dire l'axe de l'Artois) jusqu'à Lumbres, en face du pli qui limite au sud le petit bassin d'Hardinghen. Ces plis ont produit tous deux dans les terrains primaires des phénomènes exceptionnels, des chevauchements de plusieurs kilomètres; ils sont là en face l'un de l'autre, avec une même direction, à 25 kilomètres de distance, et les sondages faits près d'Escœuilles font même connaître un point intermédiaire. Dans ces conditions, leur raccordement s'impose : *le pli qui borde au sud le bassin du Pas-de-Calais et celui qui borde au sud le petit bassin du Boulonnais ne sont qu'un seul et même pli*. C'est l'idée simple qui devait venir tout d'abord, que M. Breton avait développée et qu'on admettait généralement, avant que des considérations plus complexes nous en aient successivement détournés, MM. Breton, Gosselet, Parent, Dollfus et moi. Ces tâtonnements n'auront peut-être pas été inutiles, puisqu'ils ont suscité des études de détail; en tout cas, il est satisfaisant de voir qu'ils ramènent au point de départ simple et naturel.

Une remarque est ici nécessaire pour éviter les malentendus. En parlant de plis qui se continuent, je ne prétends pas que ces plis sur tout leur parcours se font

sentir sur les terrains secondaires de la surface, ni que les courbes de niveau de la craie ou du jurassique, si même elles étaient plus précises et plus exactes, devraient indiquer cette continuation. Les ondulations des couches récentes, *quand elles existent*, suivent la direction des plis anciens, mais il n'est pas nécessaire qu'elles existent partout au-dessus de ces plis; dans beaucoup de cas, il semble manifeste que cela n'a pas lieu, et cela ne constitue à mes yeux une objection ni à la méthode, ni aux résultats.

Dans l'exemple actuel, les plis récents suivent les plis anciens jusqu'auprès de la vallée de l'Aa, puis ils s'arrêtent. Cela veut dire, non pas que les plis anciens n'allaient pas plus loin, mais qu'ils ont cessé plus loin de se répercuter à la surface. On comprend très bien d'ailleurs que la ligne de déviation vers le nord ait joué le rôle d'une sorte de barrière transversale. Il faut alors avoir recours à d'autres ordres de considérations : celles que j'ai indiquées mènent à raccorder nos quatre plis avec ceux du nord du Boulonnais; elles ne peuvent pas être infirmées par le fait, accepté au début, que la craie n'est pas ondulée sur leur emplacement.

Il importe pourtant encore de remarquer qu'à l'ouest de la partie spécialement étudiée par M. Parent, on peut retrouver, dans la région jurassique, quelques traces de ces accidents : j'ai déjà montré, dans mon étude précédente, qu'une large dépression peu accusée des terrains wealdiens se superposait un peu en retrait au synclinal d'Hardinghen. Peut-être là, il est vrai, y aurait-il lieu de tenir compte de l'objection faite par M. Dollfus pour la vallée de l'Aa (à laquelle elle me semble mal applicable); le lambeau crétacé (au sud de Rety) qui accuse cette dépression pourrait être un lambeau descendu par glissement et, en effet, l'ondulation correspondante n'est pas marquée dans les terrains jurassiques sous-jacents.

Un peu plus au sud, la faille de Beuvrequen s'étend dans la même direction, et l'on peut aussi y voir une ligne directrice du même système de plis. J'ai rattaché (*) la production de cette faille, qui date de la fin du jurassique, à la formation contemporaine d'un dôme de soulèvement sur l'emplacement de l'Ardenne et du Brabant; mais si l'on remarque que cette faille équivaut au déplacement produit par un pli brusque ou, en réalité, par l'ensemble d'un synclinal et d'un anticlinal très rapprochés, il est naturel de supposer que la préexistence d'un accident de ce genre a déterminé le choix de la surface de décollement. On se trouve ainsi conduit à faire converger le long de cette ligne nos deux plis les plus méridionaux, le synclinal de ceinture du Boulonnais et l'axe du Condros et, par conséquent, à les faire aboutir tous deux vers la rade d'Ambleteuse.

Le synclinal d'Hardinghen qui leur fait suite au nord doit correspondre au synclinal de Fléchinelle, et l'anticlinal de Caffiers, qui vient plus loin, à notre quatrième pli, au pli de Bruay, à celui qui borde au nord le bassin du Pas-de-Calais. Pourtant la question n'est peut-être pas aussi simple, et il n'est pas impossible que le synclinal de Fléchinelle se bifurque autour du massif de Caffiers. Il faudrait alors faire passer la branche orientale dans la grande sinuosité des courbes successives près de Thérouanne; il faudrait, il est vrai, y faire aussi passer l'anticlinal de Bruay, et la vallée de la Lys, conformément à une règle d'une application très fréquente, suivrait l'axe de cette sorte de rebroussement des plis. C'est une simple hypothèse qui aurait l'avantage de me mettre partiellement d'accord avec M. Dollfus; mais une étude attentive du synclinal d'Hardinghen me décide à la repousser.

(*) *Bull. Soc. géol.*, 3e série, t. XX, p. 132.

Ce synclinal, comme on sait, se dirige vers le Gris-Nez; de plus, les accidents que j'ai analysés dans un autre travail (*), dessineraient, d'après les études de M. Douvillé et de M. Rigaux, une ceinture courbe autour du massif du Gris-Nez. Il y aurait donc là indication d'une nouvelle bifurcation semblable à celle du sud du Boulonnais, et les considérations développées plus haut mènent alors à conclure, comme d'ailleurs je l'avais déjà fait en me plaçant à un autre point de vue, que le massif du Gris-Nez fait partie d'un second dôme, qui se rattache naturellement au Weald anglais. Le synclinal d'Hardinghen se bifurquerait autour de ce dôme, et sa branche méridionale irait alors, elle aussi, aboutir dans la rade d'Ambleteuse.

C'est là la raison indirecte qui m'empêche de croire à la bifurcation du même synclinal auprès de Thérouanne; si l'on admet en effet l'explication théorique que j'ai donnée de la formation des massifs amygdaloïdes, il serait peu compréhensible qu'il s'en formât deux distincts dans une même bifurcation d'un synclinal, c'est-à-dire à l'intérieur d'un même élargissement ou d'un même ventre primitif.

On voit que, malgré la ténuité d'une partie des indices, leur concordance mène à un résultat satisfaisant. Il y a une nouvelle vérification à tirer de l'étude des fonds marins.

Il est évident que, si les anciennes surfaces de dénudation marine, telle que la surface des terrains primaires dans le Nord, reflètent en quelque sorte les plis anciens et en reproduisent le réseau, la même chose doit être vraie des surfaces de dénudation qui ont servi de premier fond aux mers actuelles. Ce fond a été depuis recouvert par des dépôts, plus ou moins épais, qui tendent à en niveler les inégalités, *en même temps que l'accentuation progressive et continue des ridements tend à accentuer ou*

(*) *Bull. Soc. géol.*, 3e série, t. XX, p. 134.

à reproduire ces mêmes inégalités. Par conséquent, du moment que le fond n'est pas plat, on doit y retrouver la trace du réseau invariable des plissements. C'est la conséquence nécessaire de la théorie, et c'est ce qui arrive en effet.

Cette idée ne semble pourtant avoir été acceptée qu'avec réserve, et plutôt comme une remarque curieuse que comme un sérieux instrument de recherches.

On a objecté qu'il y a des causes d'erreur, que les courants marins peuvent en certains points creuser le fond, ou aligner des dépôts à surface ondulée, que la dénudation a pu être incomplète là où les roches étaient plus dures, que dans les mers du Nord les dépôts glaciaires qui les ont encombrées ont dû créer des amas à surface irrégulière et que dans les mers d'origine relativement récente, les plissements, même supposés continus, n'ont pas eu le temps de se faire une place reconnaissable au milieu de ces irrégularités dues à d'autres causes. Tout cela est vrai en partie ; il est certain qu'il ne faut pas compter sur des indications sérieuses dans les deltas ou dans les estuaires ; il est certain aussi qu'au voisinage immédiat des côtes, la plupart des irrégularités sont dues aux différentes épaisseurs de sables amenées par les courants. Mais, d'une part, ces actions sont bien faibles par rapport aux profondeurs et aux dénivellations qu'on a à discuter, et, d'autre part, une observation attentive montre que l'*influence indirecte* des inégalités principales aligne presque toujours ces actions perturbatrices dans la direction des creux et des saillies principales, c'est-à-dire dans celle des plis.

Un exemple bien remarquable est celui de la mer du Nord. Quand on songe qu'elle a été remplie à l'époque quaternaire par les glaciers scandinaves, que les bancs et les blocs que ces glaciers charriaient jusqu'en Angleterre ont, au moment de leur retraite, couvert le fond

d'une nappe presque continue, on devrait s'attendre à ne trouver dans les couches de fond que des lignes capricieuses et sans loi. Or, nulle part, la prolongation des plis du continent n'est indiquée avec plus de netteté; toutes les sinuosités des courbes de niveau s'ordonnent d'elles-mêmes suivant deux systèmes de plis orthogonaux, dont les uns viennent, près de l'Angleterre comme près de la Hollande, s'aligner parallèlement à la ligne moyenne de la côte, et dont les autres prolongent les plis connus en Angleterre. On ne peut certes pas en conclure que le manteau glaciaire a été plissé, mais il a été insuffisant pour masquer l'ancien plissement.

Les éruptions sous-marines et les îles volcaniques peuvent créer une difficulté d'interprétation plus sérieuse; mais il n'y a pas à s'en occuper ici. L'obstacle véritable n'est pas dans ces actions perturbatrices, mais dans le manque de précision et dans le trop grand espacement des courbes de niveau. C'est ainsi que pour la Manche j'ai proposé une première interprétation (*), que je crois maintenant nécessaire de modifier en plusieurs points.

Ces tâtonnements, ces *approximations successives* sont à peu près inévitables, et je ne pense pas qu'on puisse y voir un argument contre la méthode elle-même. Il y a certainement, comme je l'ai dit, une certaine indécision à cause de l'espacement des courbes, et il importe avant tout de ne pas se laisser aller involontairement à profiter de cette indécision pour mettre les résultats d'accord avec une idée préconçue. Au début, je n'avais pas d'idée encore bien nette sur la précision possible dans ces sortes d'études ; j'ai constaté que l'allure des courbes menait avec évidence à continuer les plis français bien au sud des raccordements admis; mais, malgré moi, j'ai eu

(*) *Bull. Soc. géol.*, 3e série, t. XX.

une tendance à les faire redescendre le moins possible ; et, cherchant surtout une orientation générale, j'ai été amené à négliger (en le disant d'ailleurs) certaines sinuosités que je considérais comme aberrantes. J'étais aussi gêné par l'idée préconçue que les synclinaux pouvaient s'atténuer et disparaître, mais non pas converger pour se fondre en un même pli. J'ai depuis repris plusieurs fois la même étude, et je me suis bien vite aperçu qu'il fallait procéder avec plus de rigueur, non seulement pour contrôler la méthode, mais pour en tirer parti. Dire qu'une ligne de dépressions ou de saillies est aberrante, c'est simplement dire sous une autre forme qu'on n'en a pas tenu compte, et rien n'autorise ainsi à faire un choix entre les données. Tous les détails doivent s'expliquer, à moins d'être déclarés inexacts ; chaque sinuosité doit donner non seulement un point, mais une direction ; les lignes de plis doivent être rigoureusement normales aux courbes de niveau, quand elles les traversent, ou les suivre à peu près parallèlement, et j'ajoute même, quoique ceci ne soit pas nécessaire, qu'on doit obtenir deux système de plis, qui se croisent partout exactement à angle droit. Tout point où ces conditions ne sont pas remplies d'une manière satisfaisante doit être considéré comme une objection ou comme une preuve qu'on a fait quelque part une fausse interprétation. A cette condition seulement, le problème, ainsi étroitement posé, est susceptible d'une solution, et si les plis ainsi trouvés vont se raccorder à ceux de la côte, on pourra attacher quelque valeur aux résultats et y voir un argument en faveur du principe.

La carte (*fig.* 9, p. 629) donne le résultat de ce nouveau travail ; j'ai adopté, entre Boulogne et l'écueil de Bassurelle, d'après la carte au $\frac{1}{200\,000}$, quelques modifications aux anciennes courbes de niveau dont je m'étais d'abord servi (carte du génie au $\frac{1}{500\,000}$). Ces modifications ne

changent pas l'allure générale des fonds, mais elles suffisent à montrer que les courbes de profondeur sont malheureusement bien loin d'avoir atteint une précision définitive.

Il importe d'autant plus de mettre d'abord en évidence les traits généraux qui se dégagent avec une netteté incontestable, et qui donnent l'orientation d'ensemble : c'est avant tout (en dehors des limites de la carte) la grande fosse de la Manche, qui atteint 174 mètres de profondeur au nord-ouest du Cotentin, et qui forme jusqu'au méridien de Portsmouth une véritable vallée sous-marine ; plus à l'est, elle s'étale et s'efface partiellement ; mais l'allure des courbes de niveau et celle des dépressions voisines semblent autoriser à la relier à la large dépression qui se trouve en face de Dieppe et de la vallée d'Arques ; c'est-à-dire que ce premier pli s'infléchirait progressivement du nord-est vers l'est et vers le sud-est.

Au nord, une seconde vallée, moins profonde, mais aussi nettement marquée, avec des profondeurs de 60 à 80 mètres, commence à s'accuser au sud de l'île de Wight et se continue vers le nord-est jusqu'au-dessous de la pointe de Beachy Head. Là le fond se relève, mais la dépression reste bien dessinée, avec inflexion progressive vers l'est jusqu'au nord de l'écueil de Bassurelle. C'est cette dernière partie que j'avais cru à tort, dans mon premier essai, pouvoir considérer comme une ligne aberrante, distincte du réseau des plissements.

Enfin, plus près de la côte anglaise, et notamment au-dessus et à l'est de l'île de Wight, une série d'autres dépressions s'alignent de l'est à l'ouest, parallèlement à la ligne moyenne du rivage.

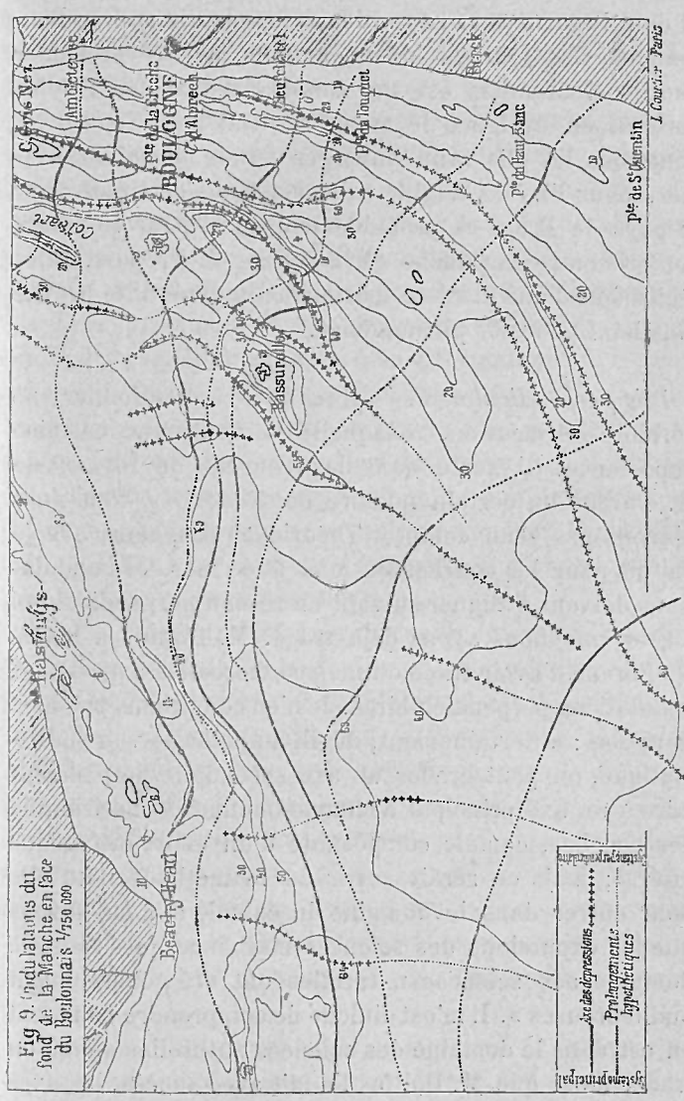
Ces données sont déjà suffisantes pour accuser le caractère *ondulé* des fonds de la Manche et pour montrer que la direction générale de ces ondulations est en

rapport avec celle des plis des deux rivages, que les uns et les autres se rattachent naturellement à un même réseau. Dans le détroit du Pas-de-Calais, ce caractère ondulé est encore plus manifeste; mais là les ondulations sont normales à la direction moyenne des plis des deux côtes; les axes de ces ondulations, prolongées jusqu'au nord de Dieppe, où on les voit converger en s'atténuant, sont également normaux à la ligne que nous avons admise comme prolongation de la grande fosse de la Manche. Cette double considération mène à voir dans les ondulations du détroit la trace du second système de plis perpendulaires aux premiers.

On obtient ainsi l'amorce d'un réseau de plissements. Ce tracé incomplet est-il suffisant pour dire que la loi proposée se vérifie dans la Manche? Cela me paraît incontestable, mais en tout cas c'est seulement sur ce tracé incomplet et certain qu'on peut s'appuyer pour affirmer ou pour contester la vérification. Pour aller plus loin, il faut admettre la loi, et alors se servir, par tâtonnements, de la condition de perpendicularité et des indentations locales des courbes de niveau. Ces dernières dans le détroit sont en général trop nombreuses et trop irrégulières pour qu'on puisse en tirer parti, et il y a lieu là de les rapporter à des causes d'un autre ordre (érosion ou apport des courants); il en de même dans le voisinage immédiat de la côte. Mais en général, les deux conditions admises suffisent à fixer les tracés à peu près sans ambiguïté.

Il serait fastidieux de se livrer à une discussion détaillée des différentes courbes. Pour faciliter le contrôle, j'ai indiqué en traits pleins toutes les dépressions qui sont accusées sans ambiguïté par les courbes de niveau; les parties intermédiaires sont en traits ponctués. A cause de la complication, je n'ai marqué que les synclinaux.

On voit que ces tracés confirment les résultats pré-



cédents; de la baie d'Ambleteuse on voit bien partir en effet deux synclinaux, dont l'un va entourer le Weald,

et dont l'autre va se raccorder avec celui du sud du Boulonnais. Ces courbes suffiraient donc à faire présumer que le Boulonnais est un massif amygdaloïde ; elles mettent en évidence le même résultat pour le Weald, dont tous les plis vont converger vers le massif du Gris-Nez, pour l'île de Wight, avec moins de certitude pour le pays de Bray, et probablement aussi pour le massif compris entre la Canche et la rivière du Tréport. Elles légitiment d'une manière inattendue la généralité prévue plus haut pour ces phénomènes.

Plis perpendiculaires. — Il me reste à mentionner une dernière vérification, à laquelle j'attache une certaine importance. Il reste dans les courbes de niveau de M. Parent un certain nombre de sinuosités dont nous n'avons pas tenu compte. Théoriquement, ainsi que je l'ai dit pour les courbes du fond de la mer, ces ondulations doivent s'aligner suivant un réseau perpendiculaire à celui que nous avons déjà tracé. M. Dollfus a blâmé M. Parent d'avoir tracé ou même amorcé les axes de ces ondulations perpendiculaires. Je n'en comprends pas bien la raison : « Certainement, dit-il, au point de vue mathématique, on peut greffer un axe secondaire perpendiculaire à un axe principal à chaque ondulation horizontale des courbes, comme composante d'un effort mécanique latéral; mais ce serait sortir de la méthode naturelle pour entrer dans le domaine du calcul, et nous savons que les excursions des sciences mathématiques dans le domaine des sciences naturelles ont été généralement malheureuses ». Il m'est difficile de comprendre comment on est dans le domaine des sciences naturelles quand on trace, ainsi que M. Dollfus l'a fait avec succès, les axes des ondulations principales, et comment on entre dans celui du calcul quand, par la même méthode et d'après les mêmes courbes, on trace les axes des ondulations

secondaires. Si les tracés de ces seconds axes s'ordonnent suivant des lignes perpendiculaires aux premières, la chose ne cesse pas d'être intéressante parce qu'elle a quelque apparence géométrique, et les sciences naturelles seraient bien à plaindre si elles ne pouvaient parler de lignes perpendiculaires sans sortir de leur domaine.

Ces ondulations perpendiculaires, loin de devoir être négligées, ont une grande importance, non seulement au point de vue théorique, mais comme contrôle du tracé des axes principaux, avec lesquels on risque de les confondre partiellement si on n'en distingue pas le réseau avec soin. De plus, elles ont joué souvent un rôle dans le tracé des vallées ; en certaines places elles peuvent s'accentuer même plus que celles du réseau principal; au point de vue même des recherches de houille, elles ont un grand intérêt, car elles ont pu souvent avoir une influence considérable sur l'importance plus ou moins grande des anciennes dénudations.

La Pl. XI montre les axes de ces ondulations, avec un essai d'en compléter le dessin en raccordant par des pointillés les parties où l'ondulation est bien visible. C'est d'abord l'axe transversal du Boulonnais dont j'ai déjà fait mention dans mon précédent travail ; celui de Bimont et d'Hucqueliers, moins accusé ; celui de Werchocq, qui détermine le relèvement momentané du sud du synclinal de l'Aa, et qui, d'abord au sud, puis à l'est du Boulonnais (du côté de Saint-Omer), jalonne dans son tracé sinueux les sommets ou points de moindre courbure et de changement de direction des différentes courbes de niveau.

Plus loin vient le synclinal de la vallée de la Lys, qui offre ce caractère remarquable d'être à peu de distance parallèle à celui de l'Aa, quoique appartenant à l'autre système ; c'est un résultat assez fréquent de la sinuosité des plis. Ce synclinal se continue vers Fruges, suivi à

l'est par celui de la Ternoise. C'est à peu près entre ce dernier pli et celui de Bimont que serait comprise la région où la houille a disparu du synclinal houiller, et où par conséquent les dénudations anté-jurassiques ont été les plus considérables. Si peu accentués qu'ils soient, ils présentent donc un réel intérêt; car si l'on peut déterminer leur prolongation plus au nord-est, elle limitera la région où les recherches de houille (en tant qu'elles soient conseillées par d'autres indices) auraient le moins de chances d'aboutir.

Il est clair que cet essai de groupement *ne démontre pas* l'existence de ridements perpendiculaires au premier, il n'y a pas pour cela une continuité suffisante dans les indications. Si ce groupement n'était pas possible, j'y verrais une objection à la loi que je considère comme démontrée par l'étude concordante de toutes les régions dont je me suis occupé; on est en droit de ne rien conclure de ce que ce groupement est possible, mais je suis certainement en droit, sans « faire de théorie » de me trouver en contradiction avec mes propres idées, s'il ne l'est pas.

Quant à l'utilité pratique de cette recherche, je tiens à en citer un exemple tiré de cette région même et de l'étude plusieurs fois recommencée que j'en ai faite. J'avais admis d'abord, d'après la forme des courbes de niveau de M. Potier (courbe zéro), que le plateau incliné de Fléchin et d'Houdain devait correspondre à un double anticlinal et que c'était le synclinal intermédiaire qui allait s'ouvrir autour du Boulonnais. Dans cette hypothèse, le pli d'Anvin (FF) de M. Parent devenait un pli du second système, et la sinuosité de la courbe 150 à l'est d'Heuchin se trouvait isolée avec impossibilité de la rejoindre à aucun autre. Je n'ai pas hésité à en conclure que mon tracé devait être inexact, et, en effet, ainsi que je l'ai dit plus haut, M. Parent, auquel j'en ai écrit, a

bien voulu me fournir, sur la région de Houdain, des renseignements nouveaux, dont il faut conclure que c'est bien la prolongation de l'axe de Radinghen et du sud du Boulonnais qui va passer à Anvin.

C'est une des grandes difficultés de ces sortes d'études que l'existence de ce réseau perpendiculaire dont les lignes ont pu, à certaines époques, comme je l'ai indiqué ici même pour la Manche et ailleurs pour le Plateau central, devenir sur un parcours plus ou moins long les lignes de plissement principal. Mais cette difficulté est une raison de plus pour ne pas en négliger même les plus faibles indices, et il peut devenir alors un précieux élément de contrôle.

Conclusions. — Le résultat principal de la seconde partie de ce travail, celui du moins sur lequel je tiens le plus à appeler l'attention, est l'existence et le rôle des massifs amygdaloïdes. J'ai montré leur existence dans le Boulonnais et le Weald, j'ai indiqué de plus que le pays de Bray et l'île de Wight semblaient rentrer dans le même cas. Ce sont eux qui ont donné lieu par conséquent aux bombements les plus importants du bassin anglo-parisien, et ils deviennent un élément essentiel de la reconstitution des anciens plis.

J'ai essayé d'expliquer leur formation en les comparant aux plis qui ont successivement subdivisé les anciens synclinaux; ce serait le même phénomène, produit seulement dans le fond d'un synclinal localement élargi et par conséquent limité en direction. Il est assez curieux de voir que leur histoire subséquente semble montrer l'influence successive de cette double origine et que plus tard, sur le même emplacement, on voie se produire successivement des bassins d'affaissement et des dômes de soulèvement. Le Boulonnais était un creux à l'époque jurassique; le Weald s'est affaissé de plus de 600 mètres

pendant le néocomien, et c'est plus tard seulement que les deux massifs par un mouvement inverse ont pris leur forme saillante actuelle (*). Les massifs amygdaloïdes, en plus de leurs particularités d'allure, présentent celles de fournir des exceptions à la loi de permanence du sens des mouvements de l'écorce.

Au point de vue pratique, c'est aussi l'existence de ces massifs qui fournit la conclusion principale, contraire à celle que j'avais précédemment énoncée : le massif ancien correspondant doit être profondément dénudé et, par conséquent, il n'y a guère chance d'y pouvoir trouver de la houille. Cette conclusion est d'ailleurs confirmée par le nouveau tracé des plis qui me paraît résulter des modifications apportées par M. Parent aux données anciennement admises. Le bord sud du bassin du Pas-de-Calais va passer au nord du dôme du Boulonnais.

Le petit bassin d'Hardinghen serait ainsi la continuation de celui de Fléchinelle, comme on l'admettait généralement autrefois, et cela est certainement la solution la plus satisfaisante au point de vue de la continuité des grands mouvements de l'écorce terrestre. Le pli couché qui a charrié le dévonien au-dessus du terrain houiller d'Auchy-au-Bois, est le même que celui qui a poussé le calcaire carbonifère au-dessus des couches d'Hardinghen.

Cette solution permet de voir dans l'axe du Condros, aussi bien dans le Boulonnais que plus à l'est, le rivage de la mer du dévonien inférieur. Elle a été combattue par M. Breton, à cause de la différence de faciès du terrain houiller à Hardinghen et à Fléchinelle ; mais cette différence est de celles qu'on peut admettre pour un même

(*) J'ai montré qu'on retrouve très nettement la trace de ces deux mouvements successifs dans les failles qui entourent le massif du Gris-Nez (*Bull. Soc. géol.*, 3e série, t. XX).

faisceau de couches, même suivies en direction, quand l'intervalle de séparation est de 50 kilomètres ; il n'est d'ailleurs pas certain qu'à Auchy-au-Bois ni même à Fléchinelle, on connaisse les couches du véritable fond de la cuvette.

Au point de vue des recherches possibles de houille du côté de Calais, ces conclusions ont peu d'importance. Ce qu'il y a lieu de rechercher du côté de Calais, c'est la continuation des couches de Douvres, et cette recherche s'impose, quelle que soit l'opinion qu'on professe sur leur liaison avec les couches déjà exploitées en France. Je suis toujours, pour ma part, porté à admettre que c'est un des synclinaux les plus septentrionaux du bassin du Nord qui s'écarte momentanément du bassin principal et va le rejoindre au nord du Weald. La seule partie de cette étude qui pourrait avoir quelque intérêt dans la question, c'est l'examen des plis perpendiculaires qui déterminaient le grand bombement transversal, auquel a été due la dénudation complète de la houille entre Hardinghen et Fléchinelle. Le fait que les synclinaux houillers détachés du bassin principal ne s'avancent que très peu vers le nord-ouest, qu'ils se montrent presque immédiatement vidés de leur houille, tendrait à faire croire que ce bombement transversal allait en s'élargissant vers l'est. Si mon hypothèse est exacte, ce serait un indice défavorable ; c'est en tout cas une raison pour que les recherches doivent se rapprocher le plus possible de la côte.

NOTE

SUR

LES CORROSIONS PAR PUSTULES

DES CHAUDIÈRES A VAPEUR

Par M. OLRY, Ingénieur en chef des mines.

On sait depuis longtemps que des eaux d'alimentation très pures peuvent être dangereuses pour la conservation des générateurs. Dès l'année 1876, M. Aguillon (*) signalait l'exemple remarquable de la perforation d'une chaudière alimentée, à Vialas, au moyen d'une eau de pureté parfaite, titrant 0° à l'hydrotimètre. L'opinion déjà dominante à cette époque était que les corrosions de cette nature, consistant en des cavités isolées, avec formation d'ampoules ou pustules remplies de matière oxydée, devaient être attribuées à l'action de l'air très oxygéné contenu dans l'eau; mais, aujourd'hui encore, la lumière est loin d'être faite à l'égard des circonstances de la production de ces corrosions, des causes de leur aspect spécial, et des particularités qui favorisent ou entravent leur développement. La Commission centrale des machines à vapeur nous ayant confié, alors que nous étions son rapporteur, la mission de lui présenter une étude sur ce sujet, nous allons, conformément au désir qu'elle a

(*) Comptes rendus mensuels de la Société de l'*Industrie minérale*, avril 1876.

exprimé, en donner ici un extrait résumant l'état actuel de la question.

Aspect des corrosions par pustules. — Les corrosions par pustules ont un faciès bien différent de celui d'autres corrosions dues, par exemple, à l'action de sels ou d'acides contenus dans l'eau (corrosions en surface, par sillons, vermiculaires, etc.). La tôle présente des cavités parfois pivotantes (*fig.* 1), mais se rapprochant le plus ordinairement de la forme sphérique (*fig.* 2). En même temps que ces trous se creusent, ils se remplissent d'une poudre brune, rougeâtre ou jaunâtre, constituée principalement par de l'oxyde de fer produit au détriment du métal attaqué. Le volume de cette poudre étant supérieur à celui du métal qui a disparu, il se forme, au-dessus de chaque trou, une sorte de champignon, également à peu près sphérique : c'est la pustule. Sa surface est souvent recouverte par une pellicule de couleur brun jaunâtre, mince comme une coque d'œuf, et composée surtout d'oxyde de fer et de sels de chaux. Il existe des pustules qui tombent en poussière au moindre contact; d'autres sont beaucoup plus solides, à cause, notamment, de la dureté de la pellicule qui les recouvre ; ces dernières se détachent même parfois de la tôle, et, roulées par l'eau, donnent lieu à de petits rognons (*) légers, poreux, non homogènes, et différents de dimensions et d'aspect.

Fig. 1.

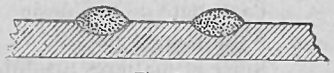


Fig. 2.

Nous donnons ci-après des analyses de la poudre con-

(*) Compte rendu des séances du troisième Congrès des ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, 1878. — *Corrosions intérieures des tôles des réchauffeurs.*

tenue dans les pustules, de la matière solide qui constitue les croûtes ou calottes, et des rognons dont nous venons d'indiquer l'origine :

Poudre (*).

Sesquioxyde de fer	86,26
Eau	0,59
Matières grasses et organiques	6,29
Sels de chaux	4,52
Silice, alumine, pertes	2,34
Total	100,00

Matière solide (**).

Carbonate de chaux	38,0
Carbonate de magnésie	8,7
Sulfate de chaux	12,8
Silice et matières insolubles	8,2
Oxyde de fer	32,3
Total	100,0

Rognons (*).

Matières grasses	22,4
Matière organique brune	7,6
Protoxyde de fer	1,3
Peroxyde de fer	11,3
Sulfate de chaux	1,5
Carbonate de chaux	55,4
Matières non dosées et pertes	0,5
Total	100,0

Ces analyses, ayant trait à des cas particuliers, ne peuvent naturellement être consultées qu'à ce titre. On conçoit que, suivant les circonstances, la composition des trois produits puisse varier dans de larges limites.

En général, les pustules qui prennent naissance à la partie inférieure des viroles horizontales des générateurs sont

(*) Compte rendu du troisième Congrès des ingénieurs en chef des Associations, 1878.

(**) E. Cornut. — *Catalogue descriptif et raisonné des défauts de tôles*, etc., 1878.

plus plates que celles qui se développent dans les régions supérieures ; ces dernières ont souvent la forme de gouttes ; nous citerons comme exemple remarquable une pustule qui a été recueillie au ciel d'une chaudière en chômage dont les bouilleurs n'avaient pas été complètement vidés.

A l'extérieur, cette pustule était de couleur brun jaune ; la partie *ab*, de couleur brun foncé (*fig.* 3), ressemblait à un corps d'insecte.

Fig. 3. — Vue extérieure.

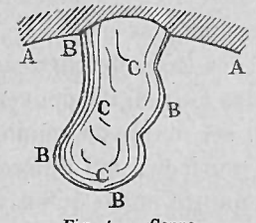


Fig. 4. — Coupe.

On voit en BBBB, sur la coupe *fig.* 4, l'enveloppe extérieure de la pustule, dont l'épaisseur n'était que de 1/10^{e} de millimètre, et n'était pas plus forte, dans la partie *ab* de la *fig.* 3, que partout ailleurs. Au contact avec le ciel AA de la chaudière, la tôle était rongée. A l'intérieur de la goutte, on voyait des pellicules CCC, d'épaisseur très faible, qui tombaient en poussière au toucher, et étaient constituées par la poudre brune habituelle.

La formation de cette pustule a eu lieu comme celle des stalactites. Une chaudière en feu était située à côté de la chaudière en chômage, et vaporisait l'eau de celle-ci, qui se condensait en gouttes à son ciel, d'où la production de pustules se développant progressivement.

Les pellicules CCC sont jointives à l'extérieur, mais deviennent de plus en plus irrégulières à l'intérieur ; vers le centre, elles forment des cellules présentant des cavités assez accentuées.

C'est par suite d'une évaporation artificielle plus énergique que l'évaporation régulière — à cause du voisinage

de la chaudière en activité — que les pustules ont offert, dans l'espèce, les caractères que nous venons de décrire. Lorsque l'évaporation est plus lente, elles affectent une forme moins allongée, et se remplissent de poudre, au lieu de présenter des diaphragmes successifs.

La profondeur des corrosions par pustules est extrêmement variable. Il n'est pas rare d'en rencontrer qui perforent presque entièrement la tôle. Cet effet se produit quelque fois très rapidement, en quelques années et même en quelques mois.

Quand des trous de corrosion par pustules sont voisins les uns des autres, ils peuvent, par leur extension progressive, se réunir de manière à engendrer une corrosion par surface, qui diffère des corrosions ordinaires de cette nature en ce qu'on y distingue les éléments qui lui ont donné naissance.

Régions dans lesquelles les pustules se développent de préférence. — Il convient de considérer séparément le cas des chaudières en activité et celui des chaudières en chômage.

Chaudières en activité. — Les corrosions par pustules se rencontrent fréquemment dans les réchauffeurs alimentés à l'eau froide; l'attaque est d'autant plus vive que l'eau séjourne plus longtemps dans ces appareils. Ces corrosions sont surtout abondantes dans le réchauffeur le plus froid, particulièrement au voisinage de l'endroit où arrive l'eau d'alimentation; elles diminuent à partir de cet endroit, et disparaissent peu à peu à mesure qu'on s'avance dans des régions plus chaudes.

On rencontre aussi parfois les mêmes corrosions dans les parties les plus froides, recevant l'eau alimentaire, des chaudières dans lesquelles la circulation de l'eau n'est pas très active, et où l'équilibre de température s'établit mal, par exemple à la partie inférieure des

chaudières à foyers intérieurs et au pied des chaudières verticales. On les observe également dans les bouilleurs des chaudières à flammes renversées, qui sont de véritables réchauffeurs.

D'après le même principe, on remarque, dans les locomotives, que leur importance est d'autant moindre qu'on se rapproche plus du plan d'eau. On a même constaté, à la compagnie de l'Est, que non seulement les pustules se produisent de préférence à la partie inférieure des viroles du corps cylindrique, mais aussi que, quand ces viroles sont alternativement emboîtantes et emboîtées, elles apparaissent principalement sur les viroles du plus grand diamètre, comprises entre deux autres de diamètre moindre. C'est donc encore ici dans la zone la plus froide, et où la circulation a le moins d'activité, que l'altération atteint son maximum. Par contre, on a vu assez souvent, à la même compagnie, des corrosions se manifester au voisinage de la génératrice supérieure des tubes en fer ou en acier doux, ce qui paraît en contradiction avec la règle ci-dessus.

Les superficies en contact avec la vapeur sont toujours exemptes de pustules, à moins qu'il ne s'agisse de capacités réduites, dans lesquelles un cantonnement d'air est possible. Cette exception comprend la partie supérieure de certains réchauffeurs et bouilleurs inférieurs dont la pente est assez faible pour que l'air dégagé de l'eau d'alimentation y séjourne longtemps en contact avec les tôles; l'effet ainsi produit est d'ailleurs d'autant plus marqué qu'on se trouve plus près de l'entrée de l'eau alimentaire.

Chaudières en chômage. — Quand une chaudière en chômage n'a pas été complètement vidée, des pustules se forment dans les régions touchées par l'eau, à mesure que celle-ci s'évapore. Il y a fréquemment, pour ce motif, altération des parties basses où l'on a laissé séjourner

un peu d'eau ; cette action se remarque surtout lorsque les tôles offrent de l'une à l'autre des ressauts qui favorisent le séjour du liquide. Si la chaudière est restée primitivement pleine jusqu'en *a b* (*fig.* 5), et si le niveau s'abaisse, par suite de l'évaporation, jusqu'à *c d*, c'est sur les bandes *a c* et *b d* que les pustules se formeront de préférence, et il s'en produira moins et plus rarement dans la partie *c e d* encore baignée par l'eau. En d'autres termes, on verra les pustules naître surtout dans le voisinage de la ligne d'eau et immédiatement au-dessus, en créant ainsi une ligne de rupture dirigée suivant des génératrices de la paroi cylindrique ; ce phénomène est fréquent dans les chaudières qu'on garde pleines d'eau jusqu'au niveau normal, pour pouvoir les remettre rapidement en marche, s'il est nécessaire.

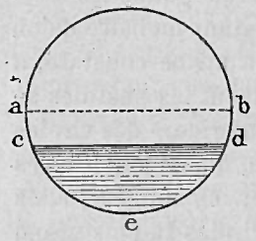


Fig. 5.

Quand l'évaporation de l'eau restée dans une chaudière en chômage est activée par le voisinage d'une chaudière en feu, la région située hors de l'eau dans laquelle les pustules se développent comprend le ciel tout entier du générateur. Nous avons donné plus haut la description détaillée d'une pustule formée dans de pareilles conditions.

Il y a également formation de pustules dans les chaudières vides voisines de chaudières en activité, quand les valves de prise de vapeur y laissent couler de l'eau. Cela tient à ce qu'il existe alors, à leur intérieur, une atmosphère humide et un peu d'eau. Le même phénomène a été observé dans le cas de chaudières où de la pluie tombait par un trou d'homme supérieur ouvert.

Cause de la production des pustules. — La cause de la production des pustules peut déjà se déduire de l'interprétation de quelques-uns des faits que nous venons de signaler. La poudre qui les remplit étant composée presque exclusivement de sesquioxyde de fer, il est naturel d'attribuer leur formation à une action oxydante ayant pour origine l'attaque des tôles par l'oxygène de l'air contenu dans l'eau d'alimentation. Cette explication est corroborée par le fait que l'eau pure, préalablement bouillie pour en chasser les gaz dissous, est, comme nous le verrons plus loin, complètement inoffensive ; elle donne en outre la raison pour laquelle des pustules se développent, à l'intérieur des chaudières en chômage, dans les régions non baignées par l'eau et où n'agit que l'air humide ou l'eau condensée provenant de l'humidité ; les corrosions constatées dans ces régions ne peuvent pas provenir de l'action de matières salines, et sont nécessairement dues à l'effet oxydant de l'air humide ou de l'eau chargée des gaz de l'air. C'est aussi pour cela que, comme nous l'avons vu, les tôles en contact avec la vapeur dans les chaudières en pression ne présentent de pustules que dans les capacités où il existe de l'air à demeure, capacités qu'on appelle vulgairement des « ciels d'air » ; ici encore, il est évident que c'est l'air mélangé avec la vapeur qui est la cause du mal. Au reste, l'abondance des pustules dans les régions froides des chaudières et des réchauffeurs, et particulièrement à proximité de l'entrée de l'eau alimentaire, abondance qui décroît à mesure que l'eau s'échauffe en s'éloignant de cette entrée, ne peut s'expliquer que si l'on admet l'influence exercée, à ce point de vue, par l'air contenu dans le liquide.

A Glasgow (*), la substitution des eaux très pures du Lock Katrine aux eaux calcaires qui servaient précédem-

(*) Hirsch et Debize. — *Leçons sur les machines à vapeur*, t. I, 1891.

ment à l'alimentation de la plupart des chaudières de la ville a exercé sur un grand nombre d'entre elles, surtout sur celles qui étaient neuves ou dont un nettoyage complet avait mis les parois métalliques tout à fait à nu, une influence des plus destructives ; l'attaque des tôles a été très rapide, et elle ne pouvait s'expliquer, précisément à cause de la pureté des eaux, que par leur très grande oxygénation : elles renfermaient 20 à 30 centimètres cubes de gaz par litre, dont 10 d'oxygène.

Dans les Vosges, on a observé maintes fois que la corrosion pustuleuse se manifeste avec le plus d'énergie lorsque les eaux alimentaires sont chargées d'oxygène et d'acide carbonique, comme celles des ruisseaux tombant en cascades et passant dans des forêts.

Cet ensemble de remarques ne nous paraît laisser aucun doute sur la nature du phénomène qui donne naissance aux corrosions par pustules. C'est évidemment un phénomène d'oxydation ; le fer se rouille en s'emparant de l'oxygène dissous dans l'eau, ou dégagé par elle sous l'influence de la chaleur.

Des expériences très intéressantes ont été faites, pour mettre cette action en évidence, par MM. Scheurer-Kestner et Meunier-Dollfus, de Mulhouse (*). Un barreau de fer fut enfermé par eux dans un flacon de 10 litres de capacité, renfermant de l'eau de la vallée de Saint-Amarin, exempte de sels calcaires, mais très aérée ; des stries jaunes ne tardèrent pas à sillonner l'eau de la partie inférieure du flacon ; en même temps, la barre de fer se couvrit de champignons de rouille ; lorsque tout l'oxygène dissous fut consommé, l'oxydation cessa, et la barre, sortie du flacon, nettoyée, puis remise en place, resta

(*) Scheurer-Kestner et Meunier. — Note sur l'emploi des réchauffeurs en tôle. *Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse*, mai 1871.

brillante au sein de l'eau, comme si elle avait été vernie. Cette expérience, reproduite en opérant sur de l'eau calcaire du terrain jurassique, bien aérée et contenant de l'acide carbonique, donna des résultats un peu différents : la barre de fer s'oxyda plus lentement, en se couvrant d'une couche d'ocre ; les stries jaunes de l'eau furent mélangées de stries blanches provenant de sels calcaires qui se précipitaient ; sortie du flacon, nettoyée et remise en place, la barre de fer se recouvrit d'une nouvelle couche d'ocre ; les sels calcaires retardaient donc et entravaient l'oxydation, par suite de leur dépôt sur le métal. Enfin, une troisième expérience, faite sur de l'eau distillée récemment bouillie pour en expulser les gaz dissous, ne mit en évidence aucun phénomène d'oxydation ; la barre resta indéfiniment brillante à l'intérieur du liquide.

Dans les deux premiers cas, l'attaque du fer a eu lieu à basse température, dans des conditions assez analogues à celles où se trouve l'eau des réchauffeurs au voisinage du débouché du tuyau d'alimentation. La poudre recueillie faisait effervescence aux acides, et renfermait un mélange de carbonate et d'oxyde ferriques.

Cette composition appelle l'attention sur le rôle que peut exercer l'acide carbonique associé à l'oxygène dissous dans l'eau, sur les phénomènes que nous examinons. On a objecté parfois que l'oxygène se trouve toujours, ou presque toujours, en quantité plus ou moins grande dans les eaux d'alimentation, et que, par suite, ces eaux devraient, dans la grande majorité des cas, engendrer des corrosions pustuleuses. Nous verrons plus loin qu'une telle conclusion serait erronée, attendu que certaines substances dissoutes dans l'eau neutralisent l'action de l'oxygène sur le fer, et qu'en outre ce métal peut être artificiellement soustrait à cette cause de détérioration. Néanmoins, on peut se demander si, pour être

réellement nocive, l'action de l'oxygène dissous ne doit pas être surexcitée par la présence simultanée d'une certaine quantité d'acide carbonique libre. Des analyses assez nombreuses faites sur des eaux pures nettement corrosives y ont révélé la présence de ce gaz à l'état libre; mais ce sont surtout les expériences entreprises par M. le professeur Crace-Calvert, de Manchester (*), qui ont jeté quelque lumière sur ce point.

Tout d'abord, ce savant a reconnu que le fer ne s'altère pas dans l'oxygène ou dans l'acide carbonique, lorsque ces gaz, agissant inviduellement ou à l'état de mélanges, sont purs et secs.

L'acide carbonique humide est de même sans action sensible sur le fer ; l'oxygène humide l'attaque faiblement ; le mélange des deux gaz, à l'état humide, produit une oxydation rapide de ce métal.

En plongeant une tige de fer dans un flacon rempli de l'eau ordinaire de la ville de Manchester, qui contient en dissolution de l'oxygène et de l'acide carbonique, M. Crace-Calvert a vu de la rouille s'y manifester avec une grande intensité. Lorsqu'il faisait au contraire bouillir préalablement cette eau pour en chasser les gaz dissous, aucune trace d'oxydation n'apparaissait, même après plusieurs semaines.

Enfin, pour apprécier l'importance du rôle de l'acide carbonique au point de vue de l'oxydation, il prépara des mélanges gazeux renfermant respectivement 75, 50, 25, 16 et 12 p. 100 d'acide carbonique, et 25, 50, 75, 84 et 88 p. 100 d'oxygène ; en remplissant des flacons à moitié d'eau distillée bouillie et à moitié de ces divers mélanges, et en y plongeant des lames de fer émergeant en partie hors du liquide, il observa que ces lames se corrodaient

(*) F. Crace-Calvert — Experiments on the oxidation of Iron, janvier 1871. — Memoirs of the literary and philosophical Society of Manchester, 3e série, 5e volume.

dans la partie immergée, d'autant plus rapidement que la proportion d'acide carbonique était plus grande, et qu'il y avait dégagement abondant d'hydrogène, preuve manifeste de la décomposition de l'eau par le fer.

D'après cela, l'acide carbonique interviendrait dans la formation des pustules, et l'altération du fer se produirait non pas seulement en raison de l'attaque du métal par l'oxygène coexistant dans l'eau avec ce gaz, mais encore par suite de la décomposition de l'eau en oxygène et en hydrogène. On conçoit d'ailleurs que ces deux actions puissent se produire successivement; la rouille commencerait alors par se former par voie d'oxydation directe ; puis, cette rouille constituerait, avec le fer resté intact, un élément de pile susceptible de décomposer l'eau, et l'oxygène provenant de cette décomposition viendrait accélérer la corrosion du métal.

On peut se demander si l'oxygène et l'acide carbonique contenus dans l'eau agissent à l'état de dissolution, ou seulement à l'état gazeux lorsqu'ils s'éliminent grâce à l'élévation de la température. Nous avons vu que, dans les chaudières en chômage imparfaitement vidées, les pustules se forment surtout hors de l'eau; cette circonstance tendrait à prouver que l'air humide agit plus énergiquement que l'eau chargée d'air ; ce seraient donc particulièrement les bulles d'air dégagées par le chauffage de l'eau qui produiraient les pustules, ou du moins qui seraient la cause essentielle de leur formation. On s'explique ainsi les corrosions profondes que présentent les ciels d'air, c'est-à-dire les parties hautes des éléments des générateurs où l'air peut s'accumuler, corrosions qui affectent tantôt le caractère de corrosions en surface, tantôt l'aspect pustuleux. Toutefois, il faut noter qu'en thèse générale, les corrosions par pustules ne paraissent pas avoir de tendance marquée à altérer les parties supérieures plutôt que les parties inférieures des bouilleurs et

des réchauffeurs, bien que les bulles d'air s'accumulent de préférence sur les premières. Cette observation mettrait plutôt en cause l'action des gaz dissous ; il est donc possible, probable même, que les deux modes d'attaque agissent simultanément.

Dans tous les cas, il paraît acquis que la cause première de la formation des pustules réside dans les gaz que l'eau d'alimentation renferme à l'état de dissolution. Plus ces gaz sont riches en oxygène et probablement aussi en acide carbonique, et plus l'action qu'ils exercent est énergique. Une fois cette action commencée, elle peut se continuer ou s'aggraver par l'effet de phénomènes électriques dus au contact de la rouille produite et du métal intact formant une sorte d'élément de pile. Ce qui semble le démontrer, c'est que, pour arrêter la pustulence, il est indispensable d'enlever toute trace de rouille existant dans les cavités déjà formées ; s'il y reste un peu d'oxyde de fer, même sous une couche de peinture, le mal ne tarde généralement pas à reparaître. Dans le même ordre d'idées, M. Roland nous a cité un cas remarquable de corrosions pustuleuses sur les feuilles de coup de feu d'une chaudière à bouilleurs qui avait la propriété de s'électriser. Les phénomènes de cette nature sont encore peu connus, mais l'influence qu'ils exercent ne paraît plus douteuse depuis qu'elle a été mise en évidence par les expériences de Manchester.

Mode d'attaque des tôles corrodées par pustules. — L'irrégularité de l'attaque des tôles par les eaux aérées et la concentration de cette attaque sur des points déterminés, isolés les uns des autres, semblent, *a priori*, assez étranges. Cependant, on s'explique cette particularité si l'on remarque que le fer ou l'acier doivent être considérés comme de véritables brèches formées par des grains de fer pur empâtés dans une masse plus ou moins

carburée. Cette constitution des tôles, qui peut se modifier par sauts brusques d'un point à un autre, leur donne une sensibilité variable à l'oxydation ; de plus, les actions électriques consécutives à la formation d'une première tache de rouille ne se manifestent qu'à l'endroit où cette tache se trouve, de sorte que le métal est sujet à se creuser progressivement en un point, sans être sensiblement altéré aux alentours. Enfin, la concentration des bulles d'air en des points déterminés, et notamment à l'intérieur des cavités déjà formées, où elles sont, en quelque sorte, absorbées par la rouille préexistante, tend encore à localiser les effets observés.

Influence de la nature du métal sur la formation des pustules. — On conçoit, d'après ce qui précède, que la nature du métal constitutif des tôles joue un rôle important dans la formation des corrosions pustuleuses. Si ce métal est bien homogène, la localisation des pustules y sera moins accentuée ; s'il est de nature poreuse, il sera plus impressionnable à l'action des gaz oxydants ; il en sera notamment ainsi, quand le métal contiendra des traces d'oxyde qui le rendront plus poreux et, par suite, plus facilement attaquable ; de plus, cet oxyde est susceptible de constituer avec le fer un élément de pile. M. Cornut a remarqué que si, après avoir enlevé la poudre remplissant une pustule, on lave soigneusement la cavité correspondante, on en trouve la paroi formée par un métal brillant à texture spongieuse ; il faut peut-être conclure de là que les tôles sont surtout rongées aux endroits où elles présentent une surface rugueuse.

Si l'on fait abstraction de cette influence, le fer paraît résister d'autant mieux à l'action de l'air humide qu'il est associé à une quantité plus grande de carbone ; par suite, le fer forgé se rouille plus facilement que la fonte. Il est assez difficile, à ce point de vue, d'établir des compa-

raisons entre les chaudières en fer et celles en acier, car ces dernières sont encore relativement peu nombreuses et fonctionnent souvent depuis peu de temps. Cependant, nous n'avons pas remarqué jusqu'à présent beaucoup de corrosions par pustules dans les chaudières en acier doux, à moins que, par négligence du personnel, elles ne soient restées pleines d'eau pendant plusieurs semaines, étant en chômage. M. Walther-Meunier déclare même qu'en Alsace, après six à huit ans de marche, on n'a jamais vu de corrosions par pustules dans les chaudières des locomotives de tramways et de chemins de fer routiers, qui sont faites exclusivement en acier de provenance allemande, bien que l'alimentation s'y fasse avec les eaux les plus diverses. Le même ingénieur nous a signalé un cas de corrosion des tubes d'un réchauffeur d'eau d'alimentation par vapeur d'échappement ; l'analyse chimique a révélé dans le métal de ces tubes une proportion anormale de silicium. C'est peut-être à cette circonstance, dit-il, qu'il faut attribuer l'altération de l'appareil, car l'eau et la vapeur n'ont pas donné trace de substances pouvant occasionner une corrosion quelconque.

La présence du manganèse paraît rendre le fer plus sujet à la rouille, alors que le nickel, le cobalt et le chrome semblent plutôt s'opposer à cette altération.

Influence de la nature des eaux d'alimentation. — Cette influence est essentielle, puisque ce sont les eaux d'alimentation qui sont le véhicule des agents chimiques auxquels les corrosions par pustules doivent être attribuées.

Nous avons vu que les eaux dont l'effet est le plus à craindre sont celles qui renferment le plus d'oxygène et d'acide carbonique. Ce dernier gaz n'est d'ailleurs réellement dangereux qu'à l'état libre ; combiné à la chaux sous forme de bicarbonate soluble, il semble à peu près

inoffensif. Les expériences de MM. Scheurer-Kestner et Meunier-Dollfus ont montré que la présence de sels calcaires dans les eaux bien aérées entrave et retarde l'oxydation, par suite des dépôts qui se forment alors à la surface du métal. A Glasgow (*), l'emploi des eaux très pures du Lock Katrine, qui était funeste dans le cas des chaudières neuves ou parfaitement nettoyées, n'a entraîné aucun inconvénient pour les vieilles chaudières dont les tôles étaient tapissées d'un enduit calcaire. En même temps que l'acide carbonique du bicarbonate de chaux se dégage par l'action de la chaleur, le carbonate neutre qui se précipite vient former sur les tôles une sorte de revêtement qui les préserve de l'action oxydante, comme le ferait une couche de goudron ou de peinture, et cette action préservatrice intervient non seulement à l'égard de l'acide carbonique provenant du bicarbonate, mais encore vis-à-vis des gaz dissous dans l'eau à l'état libre.

D'après cela, il semble que, relativement aux corrosions par pustules, les eaux ayant un titre hydrotimétrique élevé doivent être les moins malfaisantes. A la compagnie des chemins de fer de l'Est, on considère comme corrosives certaines eaux donnant un faible titre hydrotimétrique et ne produisant pas de réaction acide ; ce sont des eaux qui ne renferment que très peu de chlorures et qu'on jugerait bonnes. Par contre, à la même compagnie, on cite quelques locomobiles alimentées dans les Vosges avec des eaux très pures, et où aucune corrosion par pustules ne s'est produite depuis 1879. Pour étudier de près cette influence, on a commencé l'examen méthodique des corrosions des chaudières de locomobiles alimentées exclusivement avec des eaux de provenances con-

(*) Hirsch et Debize. — *Leçons sur les machines à vapeur*, t. I, 1891.

nues, mais cet examen fort long est encore trop peu avancé pour qu'on puisse en tirer quelque conclusion.

Cette étude est certainement très intéressante et mérite d'être menée à bonne fin, car les opinions sont encore partagées, en ce qui concerne l'influence du degré hydrotimétrique sur la tendance à la pustulence des tôles. C'est ainsi qu'à une autre compagnie de chemins de fer, on estime que les eaux pures marquant de 2 à 8 ou 10 degrés à l'hydrotimètre attaquent les chaudières beaucoup moins que les eaux marquant 15, 20 ou 30 degrés.

M. Bour a remarqué que les corrosions intérieures sont accidentelles et très rares dans les départements du Rhône, de l'Isère, de la Savoie, de la Drôme, dans la partie basse de l'Ardèche et dans les départements de la Côte-d'Or et de Saône-et-Loire, où les eaux sont calcaires, avec titre hydrotimétrique variant en général de 14 à 30 degrés. Au contraire, dans la Loire, la partie haute de l'Archède, l'Allier, la Nièvre, la partie montagneuse du Rhône, où les eaux sont très pures et titrent de 3 à 10 degrés, on trouve assez fréquemment des corrosions intérieures soit générales, soit par pustules.

Ces dernières constatations viennent à l'appui de la théorie en vertu de laquelle l'élévation du degré hydrotimétrique est favorable à l'innocuité des eaux, pour ce qui a trait aux corrosions; et, de fait, il est certain que les corrosions pustuleuses sont rares avec des eaux calcaires ; elles disparaissent, en outre, complètement dès que l'intérieur de l'appareil est tapissé d'une légère couche de dépôt.

Certaines substances, ajoutées à l'eau d'alimentation, la rendent impropre à la production des pustules. M. Bour nous a cité une grande usine de Lyon où l'on alimentait avec de l'eau de Saône titrant 14 degrés hydrotimétriques, et où l'on a vu disparaître les corrosions dès qu'on a épuré cette eau par le carbonate de soude.

En mettant un barreau de fer dans une solution étendue de potasse ou de soude ou dans de l'eau de chaux, on y arrête la formation de la rouille. L'alcalinité de l'eau s'oppose donc à la pustulence. Le même effet se produit quand on fait usage d'une solution de borax.

Influence de la température de l'eau d'alimentation. — Dans les localités où les réchauffeurs sont généralement attaqués, ceux qui sont alimentés avec de l'eau chaude le sont moins, et il y a lieu de penser qu'ils ne le seraient plus du tout si la température de l'eau d'alimentation était suffisante. Nous rapporterons l'exemple suivant : aux mines de Commentry, les chaudières sont alimentées avec de l'eau d'un étang ; cette eau est préalablement chauffée dans de grandes bâches en tôle à l'air libre, au moyen de la vapeur d'échappement des machines qui passe dans un faisceau tubulaire placé à l'intérieur de chaque bâche ; la température s'élève ainsi à 90 degrés; les bâches présentent des corrosions par pustules très caractéristiques, tandis que les corps inférieurs des chaudières à flammes renversées ainsi alimentées en sont complètement exempts. On introduit en définitive dans ces chaudières de l'eau dépouillée d'air et devenue inoffensive, et l'action corrosive se trouve concentrée sur les bâches à air libre dans lesquelles le dégagement de l'air est produit sous l'influence de l'élévation de la température. C'est pour le même motif que les chaudières sont préservées contre la formation des pustules lorsque l'eau qu'on y introduit commence par passer dans des réchauffeurs; ce sont ces derniers qui éprouvent l'effet des corrosions pustuleuses, parce que c'est à leur intérieur que les gaz dissous se dégagent.

Influence de la pression ou de la température de l'eau et de la vapeur à l'intérieur des chaudières corrodées. — Pour certains ingénieurs, l'influence de la pression est

nulle, et on n'observe ni plus ni moins de corrosions pustuleuses dans les appareils à basse pression que dans ceux à pression élevée. D'autres admettent au contraire que les hautes pressions et les hautes températures favorisent les corrosions.

En ce qui nous concerne, nous croyons qu'il ne faut guère attacher d'importance à la pression et à la température maximum qui règnent dans la chaudière. Ces éléments semblent presque étrangers à la formation des pustules. Celles-ci ayant leur origine dans les gaz contenus dans l'eau d'alimentation à l'état de dissolution, se concentrent au voisinage de l'entrée de cette eau dans la chaudière, c'est-à-dire, en général, dans la région la plus froide de l'appareil; peu importe que la température du liquide atteigne ailleurs un degré plus ou moins élevé; cette circonstance, de même que la pression, ne peut exercer quelque effet — et encore un effet peu marqué — que sur la facilité et la rapidité du dégagement des gaz; elle n'intervient donc que d'une manière accessoire.

Influence du mode de montage des appareils. — Dans les réchauffeurs bien établis, à circulation active et permettant un dégagement facile et rapide des gaz dissous dans l'eau, les corrosions sont le plus souvent peu importantes et générales. Au contraire, lorsque l'eau séjourne longtemps dans les réchauffeurs, ou qu'elle n'y atteint pas une température d'au moins 60 degrés, ou encore que les gaz dissous dans l'eau ne peuvent pas s'éliminer rapidement, on remarque presque toujours des corrosions locales plus ou moins étendues, affectant généralement le caractère des corrosions par pustules. Cette différence tient à ce que la pustulence, qui a pour origine le contact prolongé des tôles avec l'eau d'alimentation chargée de gaz oxydants ou avec les bulles de

gaz fournies par cette eau, se trouve naturellement aggravée lorsque la durée de ce contact augmente.

C'est pour la même raison qu'on observe fréquemment des corrosions par pustules dans les parties les plus froides des chaudières où la circulation de l'eau n'est pas active, et où l'équilibre de température s'établit mal, lorsque l'introduction de l'eau d'alimentation se fait dans ces parties. Nous avons déjà cité, comme répondant à ces conditions, les régions basses des chaudières à foyers intérieurs et des chaudières verticales, ainsi que les bouilleurs des chaudières à flammes renversées, qui sont assimilables à des réchauffeurs.

En un mot, il faut s'attacher, dans le montage des chaudières et de leurs annexes, à ce que la circulation se fasse convenablement, à ce que l'oxygène et l'acide carbonique se dégagent rapidement, et à ce que ces gaz soient ensuite immédiatement entraînés dans le réservoir de vapeur, afin qu'ils ne puissent pas exercer sur les tôles l'action locale qui résulte d'un contact prolongé. Lorsqu'il en est ainsi, la corrosion pustuleuse ne se produit jamais, même lorsqu'on fait usage d'eaux susceptibles de la provoquer.

On peut encore obtenir le même résultat en faisant déboucher le tuyau d'alimentation dans une région chaude de la chaudière, ou même dans la vapeur. Ce système présente parfois des inconvénients et peut obliger à prendre certaines précautions, mais il a du moins l'avantage d'exclure complètement la pustulence, car les gaz dissous se dégagent avec rapidité et sont immédiatement entraînés dans le courant de vapeur. C'est ce qui fait dire parfois qu'il existe une relation étroite entre la production des corrosions par pustules et la vitesse d'échauffement de l'eau; si cette vitesse est grande, les pustules cessent de se manifester.

Dans le même ordre d'idées, il faut, dans le cas des

générateurs fournissant de la vapeur par intermittences, éviter d'alimenter peu de temps avant de fermer la prise de vapeur, afin de ne pas laisser les gaz provenant de l'eau introduite, en contact prolongé avec les tôles, pendant la période de calme qui suit la fermeture de cette prise. Il convient au contraire de n'alimenter qu'en pleine période d'activité de l'appareil, pour que les gaz dont l'effet est à craindre soient rapidement expulsés avec la vapeur.

Le système de construction des chaudières doit aussi être combiné de manière à éviter, dans les parties hautes, les chambres d'air, c'est-à-dire les capacités de faible volume dans lesquelles les gaz dégagés par la chaleur sont sujets à s'accumuler, et qui, pour ce motif, peuvent non seulement subir des surchauffes, mais encore devenir le siège de corrosions profondes.

Enfin, il est constant que, toutes les fois qu'une partie de chaudière est sujette, par suite de la forme et de la disposition des tôles, à subir un mouvement ou une déformation sous la pression de la vapeur, même sans dépasser la limite d'élasticité, cette partie est, toutes choses égales d'ailleurs, plus détériorée par les corrosions que les parties qui sont à peu près immobiles. On observe notamment cette circonstance aux joints des tôles; il se produit le long des lignes de rivure, par suite des efforts qui s'y exercent, de légers mouvements de flexion en raison desquels la couche mince de tartre qui suffit souvent à protéger la tôle contre les agents oxydants, s'écaille et tombe; la surface du métal est ainsi incessamment remise à nu, et se trouve dès lors dans les conditions les plus propices à subir l'altération dont elle est menacée. Le même effet se produit dans les congés des emboutis. Il est donc essentiel de disposer les éléments de la chaudière et de calculer leurs épaisseurs de telle façon que cet effet ne soit pas à redouter.

A ce point de vue, l'emploi des rivures à double clouure et des couvre-joints est à recommander, surtout dans le cas des pièces de grands diamètres.

Influence des incrustations. — Nous avons vu que les eaux de nature calcaire donnent rarement lieu à des corrosions par pustules; elles tapissent les tôles d'une couche de dépôt qui les préserve contre l'attaque de l'eau et des gaz oxydants. Les incrustations, si nécessaires à éviter pour d'autres motifs, agissent donc du moins à la façon d'un écran protecteur contre ce mode d'action, et il semblerait même que cette protection dût toujours être d'autant plus efficace que l'épaisseur des incrustations est plus grande. Cependant, il arrive parfois que des corrosions existent et se développent sous une couche, même épaisse, de tartre; il en est ainsi lorsque cette couche présente des solutions de continuité qui livrent passage à l'eau et lui permettent de continuer à ronger les tôles. Dans son catalogue des défauts de chaudières présenté à l'exposition de 1878, M. Cornut a cité le cas suivant : Un réchauffeur se trouvait corrodé assez profondément sur presque toutes ses tôles et sur ses rivets; on essaya d'arrêter le mal en goudronnant les tôles après enlèvement des pustules; mais l'opération fut probablement mal faite, car l'oxydation ne cessa pas de se développer au-dessous du goudron, en soulevant celui-ci, ainsi qu'une couche d'incrustation qui s'était formée par-dessus; l'intervalle compris entre le goudron soulevé et la tôle altérée était rempli de la poudre brune, composée principalement de sesquioxyde de fer, qui se trouve habituellement à l'intérieur des pustules. Au Congrès de 1888 des ingénieurs en chef des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, M. Schmidt a rendu compte de deux autres cas de corrosions très profondes par cavités isolées, observés dans des bouilleurs de

chaudières ordinaires, sous des incrustations dont l'épaisseur atteignait plusieurs centimètres. M. Walther-Meunier a cité d'autres cas analogues (*). La prudence commande donc de ne pas se fier aux incrustations comme devant empêcher les corrosions par pustules ; non seulement elles peuvent ne donner à cet égard aucune garantie, mais encore elles peuvent aggraver le danger, en ce sens qu'elles dissimulent l'effet produit, et empêchent d'en suivre les progrès. Toutefois, on est fondé à croire que les pustules naissent rarement sous les incrustations, c'est-à-dire qu'une tôle saine sur laquelle un dépôt de tartre s'est formé n'est pas sujette à être attaquée de cette manière, tandis qu'une tôle déjà rongée continuera souvent à s'altérer sous des incrustations plus récentes, malgré l'obstacle opposé par celles-ci à l'action de l'eau et des gaz oxydants.

Influence du travail auquel le métal a été soumis lors de la fabrication des chaudières. — Le travail auquel les tôles ont été soumises exerce une influence notable sur l'intensité des corrosions. Nous savons que les congés des emboutis sont, d'une manière générale, rongés plus rapidement que les tôles simplement cintrées, et nous avons attribué cet effet aux mouvements de flexion qui s'y produisent ; mais cela tient aussi à ce que, par suite de l'emboutissage, le métal non recuit perd de sa douceur. Le matage produit un effet analogue. On remarque d'ailleurs que partout où la croûte extérieure a été entaillée par le travail à froid, matage, coups de marteau, etc., le métal est plus corrodé qu'aux endroits où sa surface n'a pas été entamée ; on conçoit qu'ayant été mis à nu et n'étant plus garanti par aucun revêtement

(*) Clérault. — Note sur le huitième exercice de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur. *Annales des mines*, 4e livraison de 1876.

protecteur, étant en un mot en contact immédiat avec l'eau et les gaz qui tendent à l'altérer, il soit plus exposé à en ressentir les effets. Les pustules sont donc plus répandues le long des lignes de chanfrein ou de matage et sur les têtes de rivets que partout ailleurs ; on en voit qui ont fait disparaître presque complètement les saillies constituées par ces têtes.

Influence des peintures et enduits. — D'après cela, on voit qu'il est essentiel que le métal ne soit pas exposé à nu à l'action oxydante ; on obtiendra donc une garantie sérieuse en recouvrant les parties de la surface intérieure des chaudières exposées à la pustulence d'une peinture ou d'un enduit préservatif, après les avoir décapées, de manière à obtenir une adhérence parfaite. Un système recommandé depuis longtemps par MM. Vinçotte et Cornut, consiste à badigeonner les tôles avec des résidus de pétrole ou du goudron brûlé. De même, si des pustules se sont déjà formées, on arrêtera leur développement en grattant les cavités auxquelles elles ont donné naissance dans le métal, afin d'y enlever toute trace de rouille, et en appliquant ensuite sur elles plusieurs couches de goudron.

Influence de l'ancienneté du métal ou de la chaudière. — Il résulte de ce qui précède que cette influence est nulle. On peut citer des exemples de générateurs datant de plus d'un demi-siècle et ne présentant pas la moindre trace de corrosion, tandis que d'autres, presque neufs, sont gravement atteints.

Influence des intermittences dans le fonctionnement des chaudières. — Les chaudières en chômage ne sont pas exposées à s'altérer si on prend la précaution de les vider complètement, de les essuyer et de les sécher ensuite à l'intérieur. On devra donc s'arranger de manière

que la vidange puisse être complète, et ne pas se borner à employer des systèmes de purge sous pression, avec tuyaux plongeurs, qui laissent toujours une certaine quantité d'eau dans les parties basses ; il faut qu'il existe un ou plusieurs orifices de vidange disposés aux points les plus bas du générateur, et que la totalité de l'eau puisse s'écouler par ces orifices lorsqu'on les ouvre.

On réalisera un séchage complet en prenant la précaution de vider la chaudière avant que la maçonnerie soit complètement refroidie, et en la faisant parcourir par un courant d'air circulant entre l'orifice de purge et un trou d'homme supérieur, tous deux ouverts. S'il existe deux trous d'homme, l'un dans la partie la plus haute, l'autre dans la partie la plus basse, il y aura avantage à les ouvrir immédiatement l'un et l'autre, afin de favoriser le séchage intérieur de l'appareil par une bonne circulation d'air. On pourra ensuite enduire les tôles d'un lait de chaux.

S'il y a, près du générateur en chômage, un générateur en service greffé sur la même tuyauterie, il faudra, autant que possible, les isoler individuellement par des joints pleins, afin d'éviter qu'il puisse arriver de l'eau dans celui qui est inactif, par suite de fuites aux soupapes, valves ou robinets.

Faute de prendre ces précautions, on s'expose à voir se produire les corrosions par pustules auxquelles les chaudières en chômage sont exposées, et dont nous avons parlé plus haut. Un générateur arrêté sans être vidé peut être mis hors de service plus rapidement que s'il marchait avec des feux très vivement poussés, surtout si l'action oxydante est accélérée par le voisinage d'une chaudière en activité. M. Walther-Meunier nous a signalé un cas de ce genre ; il s'agissait d'une très ancienne chaudière, en chômage depuis plusieurs années, et dont les bouilleurs n'avaient pas été vidés complètement ; de plus,

cette chaudière se trouvait à côté d'un générateur constamment en feu ; l'eau s'y évaporait d'une manière continue, et se condensait au ciel du corps supérieur, qui était tapissé de pustules analogues à celle représentée *fig.* 3 et 4, mais moins développées.

Moyens à employer pour éviter les corrosions par pustules. — Ces moyens ont été indiqués dans le cours de la présente note ; nous terminerons en les résumant ci-dessous.

Le métal employé dans la construction des chaudières doit être de nature aussi homogène que possible, et exempt d'oxyde de fer et de parties poreuses ou rugueuses.

Si les eaux d'alimentation sont riches en oxygène et en acide carbonique libres, il est bon, soit de les additionner de carbonate de soude ou d'une autre substance leur donnant une réaction légèrement alcaline, soit de les porter, à l'air libre, à la température de 60 à 70°, avant de les introduire dans le générateur.

Le système de chaudière doit être combiné de telle façon que la circulation s'y fasse convenablement, que l'oxygène et l'acide carbonique se dégagent rapidement, et que ces gaz soient ensuite immédiatement entraînés dans le réservoir de vapeur.

Il y a lieu, en outre, d'éviter les chambres ou ciels d'air, et de faire en sorte qu'aucune partie de l'appareil ne subisse de mouvements ou de déformations notables sous l'influence de la pression interne, condition qui peut conduire à employer les rivures à double clouure et les couvre-joints.

Il est à propos, au point de vue de l'élimination des pustules, de faire déboucher le tuyau d'alimentation dans une région chaude de la chaudière, ou même dans la vapeur.

Il faut éviter d'alimenter les chaudières fournissant de la vapeur par intermittences, peu de temps avant la fermeture de la prise de vapeur.

Avant d'être mises en service, les chaudières doivent, dans les parties exposées à la pustulence, être soigneusement badigeonnées à l'intérieur au goudron ou à une autre peinture, après décapage des tôles.

Lorsqu'un générateur est mis en chômage, il faut prendre la précaution de le vider complètement, autant que possible quand il est encore un peu chaud, puis de l'essuyer et de le sécher à l'intérieur.

Il doit toujours exister des orifices de vidange aux points les plus bas, et la totalité de l'eau doit pouvoir s'écouler par ces orifices, préalablement ouverts.

Les dispositions nécessaires doivent être prises pour assurer une bonne circulation d'air à l'intérieur de l'appareil vide, afin d'obtenir aisément un séchage complet.

Si le générateur en chômage est greffé sur la même tuyauterie que d'autres générateurs en activité, il convient de l'isoler de ces derniers par des joints pleins.

Il faut éviter l'introduction de l'eau de pluie ou de toutes autres matières liquides dans les générateurs en chômage, et, au besoin, les badigeonner alors, à l'intérieur, avec un lait de chaux.

BULLETIN

LES GITES MÉTALLIFÈRES DES ÉTATS-UNIS.

Les gites métallifères des États-Unis ne sont pas seulement intéressants par leur production considérable ; ils le deviennent aussi, et de plus en plus, par les remarquables travaux scientifiques auxquels ils donnent lieu de la part des géologues américains.

Ces travaux, qu'il fallait auparavant aller chercher dans un nombre infini de publications éparses, M. Kemp, professeur à l'École des mines (Columbia College) de New-York, vient de les condenser et de les grouper avec beaucoup de méthode, en y ajoutant le fruit de très nombreuses observations personnelles, dans un ouvrage qu'on ne pourra désormais se dispenser de consulter lorsqu'on voudra étudier soit les gîtes américains, soit même les lois générales des gîtes métallifères (*).

L'ouvrage est très clairement exposé (ce qui n'est pas toujours le cas pour les livres écrits en langue anglaise), et enrichi de bibliographies détaillées, où l'on nous permettra seulement de regretter l'absence presque absolue de sources françaises, les travaux d'Élie de Beaumont et de M. Daubrée, pour ne citer que ceux-là, n'étant même pas mentionnés parmi les publications générales sur les gîtes métallifères (**).

Il est divisé en deux parties, la première assez courte (***), con-

(*) J Kemp., *The ore deposits of the United States*. New-York, The Scientific publishing Co, 1893. 1 vol. in-8° de 300 p. 4 dollars.

(**) Pages 62 à 65.

(***) Pages 1 à 65.

tenant quelques généralités et un essai intéressant de classification des gîtes ; la seconde comprenant la description des gisements des États-Unis, groupés, suivant un ordre qui nous paraît absolument logique, d'après la nature du métal dominant : fer, cuivre, plomb seul, plomb et zinc, zinc seul ou avec des métaux autres que le plomb, plomb argentifère, argent et or, métaux inférieurs [très sommairement traités (*)].

Nous ne pouvons songer à résumer ici la seconde partie de l'ouvrage qui présente la description de tous les principaux gîtes miniers des États-Unis et qui offre, par suite, un intérêt pratique aussi bien que théorique considérable ; mais il peut être utile de voir si l'exploration scientifique récente des immenses gisements américains a conduit à des conclusions géogéniques différentes de celles qui ont été généralement adoptées en Europe.

M. Kemp est arrivé, comme nous, à la conclusion formelle que les gîtes métallifères sont, sauf quelques exceptions apparentes, en relation directe avec les roches éruptives (**), et il considère que, pour expliquer cette association, le choix reste libre entre la théorie de von Groddeck, Sandberger, etc. (dont il a manifestement subi l'influence), qui fait provenir les métaux d'une *sécrétion latérale* plus ou moins récente des roches et la théorie française, d'après laquelle roches et émanations métallifères auraient, en profondeur, une origine commune. Nous avons été heureux de voir qu'il avait su se défendre de l'absolutisme avec lequel certains géologues se cantonnent dans la première théorie et surtout qu'il avait insisté sur ce fait que la sécrétion latérale (dont nous admettons très volontiers le rôle, entendu un peu différemment) avait dû se produire de préférence *à de grandes profondeurs* et non, ainsi qu'on l'avait soutenu en Allemagne, par un simple lessivage superficiel. Présentée en ces termes, il nous semble que sa théorie est singulièrement voisine de celle que nous avons cru devoir adopter ; car ce fait

(*) Pages 251 à 273 ; deux pages seulement sur le mercure.

(**) Pages 25 et 277 ; cf., page 24, sur la théorie développée, notamment en France, par M. Dieulafait, d'après laquelle les traces de métaux, contenues, depuis l'origine, dans l'eau de mer, auraient suffi pour former tous les gîtes. Notons, en passant (p. 24), une phrase sur l'origine sédimentaire « trop facilement admise » du gneiss. Nous croyons fermement, pour notre compte, à cette origine sédimentaire, sans en tirer une conclusion neptunienne pour les gîtes métallifères.

d'une formation des filons en profondeur, et non près de la surface, nous paraît être capital ; il résulte, à notre avis, entre autres preuves, de ce que les phénomènes d'oxydation dans les filons sont toujours restreints aux portions voisines de la surface actuelle, où un métamorphisme postérieur a amené des transformations, tandis que les parties non altérées des gîtes se sont visiblement formées dans un milieu réducteur (*).

Nous citerons notamment cette conclusion qui nous paraît absolument justifiée (**) :

« ... Chaque soulèvement de montagne a été accompagné de plissements, de failles et d'expansions de roches éruptives. Les fractures résultantes et les actions solfatariennes produites par la fin de l'activité volcanique ont été la cause première de la formation des gîtes métallifères ».

Pour expliquer la formation des cavités où se sont déposés les minerais, M. Kemp invoque les faits suivants (***) : contraction locale (fentes de retrait par refroidissement, consolidation ou dessiccation) (****) ; mouvements plus étendus de l'écorce, failles ; modifications secondaires des cavités sous l'action dissolvante (ou, plus rarement, érodante) des eaux, de préférence dans les calcaires (*****) ; dolomitisation par des eaux chargées de carbonate de magnésie rencontrant des calcaires, ayant pour effet d'amener une contraction de 11 à 12 p. 100. Il cite également, d'après Poszepny, les phénomènes de remplacement ou de métasomatisme (******) (que nous avons désignés sous le nom de phénomènes de substitution).

La classification des gisements est un point qu'il a spécialement étudié et discuté.

Voici le tableau auquel il arrive. Nous citons, en regard, nos propres dénominations, dont la comparaison pourra faciliter à des lecteurs français l'examen de son ouvrage :

(*) Cf., p. 26, sur le rôle du soufre dans les minerais.

(**) Page 275. Cf. Notre *Formation des gîtes métallifères*, p. 89.

(***) Page 12, etc.

(****) Il cite à ce propos, avec W. O. Crosby, comme origine des fractures, les tremblements de terre. Il semble résulter, en particulier des recherches de M. Fouqué, que les tremblements de terre n'amènent que des cassures superficielles.

(*****) Page 21.

(******) Voir page 33.

I. Origine ignée. — Sécrétions d'un magma contenant un excès de bases (magnétite, souvent titanifère, etc.)	*Gîtes d'inclusion.*
II. Substances chimiquement précipitées d'une dissolution :	
1. *Précipités superficiels, formant souvent des couches et causés par :*	
a l'oxydation (minerais des marais)	*Gîtes sédimentaires de précipitation chimique.*
b les exhalaisons sulfureuses d'une matière organique en décomposition (pyrites)	
c la réduction, surtout par une matière organique carburée (sulfures provenant de sulfates)	
d l'évaporation, le refroidissement, la diminution de pression	
e la sécrétion d'organismes vivants (minerais de fer produits par des algues)	
2. *Dissémination (imprégnations) produites dans des cavités souterraines par :*	*Gîtes d'imprégnation.*
a la porosité (minerais d'argent dans des rhyolites poreuses, amygdales cuprifères du Lac Supérieur, grès imprégnés)	
b précipitation par un calcaire	*Gîtes de substitution.*
3. *Remplissage de fissures produites par le refroidissement ou la dessiccation*	*Filons proprement dits.* distingués suivant l'origine de la fracture.
4. *Remplissage de chambres* (cavités) *ou grottes* dans le calcaire (jouant un rôle très restreint)	
5. *Remplissage de bancs disloqués par suite de la dissolution, dolomitisation, etc., de leur support*	
6. *Remplissage de fractures résultant de plissements*	
7. *Remplissage de zones de cisaillement ou de broyage le long de failles*	
8. *Véritables filons* (true veins) remplissant une fissure prolongée, souvent avec des extensions latérales	
9. *Ciment de conglomérats dans des cheminées volcaniques* (*)	
10. *Dépôts de contact le long d'une roche ignée*	*Gîtes de contact.*
11. *Ségrégations résultant de l'altération d'une roche ignée* (fer chromé dans la serpentine)	*Gîtes en amas.*
III. Substances mécaniquement déposées par les eaux où elles étaient en suspension :	*Gîtes d'alluvions* (gîtes sédimentaires de précipitation mécanique).
1. *Sables et graviers métallifères*, soit à la surface soit recouverts par d'autres dépôts	
2. *Résidu d'une concentration produite sur place par la destruction de la gangue* (sous l'influence du froid, de la pluie, etc.)	

(*) Ce type, curieux, mais bien hypothétique, a été établi par M. Kemp pour un seul cas, celui de Bull-Domingo (Colorado), où il existe, dans des cheminées elliptiques de 8 à 30 mètres de diamètre, qu'on a considérées comme ayant donné passage à des éruptions volcaniques, des fragments ou galets des roches encaissantes cimentés par des minerais divers (p. 213). La description fait penser aux cheminées diamantifères du Cap.

Nous ne ferons à cette classification qu'une critique, c'est de ne pas mettre suffisamment en évidence, à notre avis, ces deux types de gîtes dont l'origine est si différente : d'une part, les filons (comprenant les gîtes d'imprégnation postérieure et de substitution, les gîtes de contact et, dans une certaine mesure, les amas) (*), [II, 2 à 11], produits tous par une circulation des eaux métallisantes dans des terrains préexistants, et les sédiments, qu'ils soient précipités chimiquement [II, 1] ou mécaniquement [III], mais où les minerais sont toujours contemporains du terrain encaissant. Il eût suffi, pour y remédier, de placer le paragraphe II, 1 soit à la fin du groupe II, soit au début du groupe III.

Nous aurions également désiré, — mais c'est un point sur lequel l'attention des auteurs étrangers semble rarement attirée, — trouver, dans le cours de l'ouvrage, plus de renseignements sur l'âge des venues métallifères et l'ordre de leur succession. Ce livre, qui sera, nous le répétons, de la plus grande utilité pour les théoriciens comme pour les praticiens, n'aurait pu qu'en tirer un intérêt de plus.

L. DE LAUNAY.

MINES DE BISMUTH ET D'ANTIMOINE DE BOLIVIE.

La seule mine de bismuth actuellement connue en Bolivie, malgré de nombreuses recherches pour découvrir d'autres gisements de même nature, est celle de Quechisla. D'après le montant des droits d'exportation, quisont réglés à 1 bolivien (**) par quintal, on peut en évaluer la production à 500 quintaux espagnols par mois, soit 23.000 kilogrammes. La vente du bismuth se règle, paraît-il, de concert entre les principaux producteurs, à savoir, la Bolivie, la République argentine, la Saxe et l'Australie méridionale, de manière à éviter l'abaissement des prix. La mine de Quechisla fournit en outre de l'argent et de l'étain.

L'antimoine est très répandu dans tout le département de Potosi, particulièrement dans les mines d'argent et d'or, où il

(*) Les types filoniens que nous avons distingués (*Formation des gîtes métallifères*, p. 85) correspondent à peu près à ceux de M. Kemp. Ce sont : les fractures simples et champs de fractures, les gîtes de contact, les amas, les remplissages de grottes, les gîtes d'imprégnation et de substitution.

(**) V. *supra*, p. 513.

constitue un élément préjudiciable au traitement par amalgamation.

L'ouverture du chemin de fer d'Antofagasta à Oruro a déterminé l'ouverture de plusieurs exploitations dans la province de Chayanta, qui renferme beaucoup de filons d'antimoine sulfuré. Mais le prix du régule, qui valait à Londres, en 1890, 76 livres sterling la tonne, n'était plus, en 1893, que de £ 38; à cette valeur correspond un prix de £ 11 la tonne pour un minerai à 50 p. 100, et de £ 14 15 sh. pour un minerai à 65 p. 100, chaque unité de métal en sus des 50 p. 100 donnant lieu à une majoration de 5 shillings. Aussi ne peut-on exploiter avec profit que des minerais d'une teneur élevée. La Compagnie Amayapampa de Bolivia, fondée récemment, exporte des minerais dont la teneur est évaluée à 65 p. 100; la mine en produit environ 100 tonnes par mois, mais elle est située à 18 lieues du chemin de fer et peut à peine, faute de moyens de transport, expédier le quart de sa production. D'autre part, il semble que la richesse des minerais diminue à mesure qu'on descend plus profondément.

L'industrie de l'antimoine n'est, en somme, qu'à ses débuts en Bolivie et ne serait pour le moment en état de supporter aucune charge supplémentaire, aussi le Gouvernement ne l'a-t-il frappée d'aucun impôt ni d'aucun droit d'exportation.

(*Extrait d'un* Rapport *adressé à* M. le Ministre des affaires étrangères *par* M. Wiener, Consul général de France à La Paz.)

BIBLIOGRAPHIE

PREMIER SEMESTRE DE 1894 (*).

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Antomari (X.). — Application de la méthode cinématique à l'étude des surfaces réglées. Mouvement d'un corps solide assujetti à cinq conditions (thèse). In-4°, 113 p. av. fig. Paris, Nony et Cie. (1171)

Borel (E.). — Sur quelques points de la théorie des fonctions (thèse). In-4°, 53 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5779)

Brunel (G.). — Note sur le nombre de points doubles que peut présenter le périmètre d'un polygone. In-8°, 4 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (4482)

Cahen (E.). — Sur la fonction $\zeta(s)$ de Riemann et sur des fonctions analogues (thèse). In-4°, 97 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (3054)

Caronnet (T.). — Recherches sur les surfaces isothermiques et les surfaces dont les rayons de courbure sont fonctions l'un de l'autre (thèse). In-4°, 73 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (2077)

Fabry (L.). — Étude sur la probabilité des comètes hyperboliques et l'origine des comètes (thèse). In-4°, 219 p. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (863)

(*) Les numéros qui figurent à la suite de chaque ouvrage sont ceux sous lesquels ces ouvrages sont respectivement inscrits dans la Bibliographie française et dans les Bibliographies étrangères.

Grévy (A.). — Étude sur les équations fonctionnelles (thèse). In-4°, 107 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (3124)

Jordan (C.). — Cours d'analyse de l'École polytechnique. 2e édition, entièrement refondue. T. 2 : Calcul intégral. In-8°, xviii-627 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 17 fr. (5352)

Laisant et Humbert. — Communication de MM. Laisant et Humbert, membres de la Société mathématique de France, au trente-deuxième congrès des sociétés savantes, sur l'état d'avancement des travaux du Répertoire bibliographique des sciences mathématiques. In-8°, 11 p. Paris, imp. des journaux officiels (Extr. du *Journal officiel* du 31 mars 1894). (4359)

Laisant (C.-A.) et E. Lemoine. — Sur l'orientation actuelle de la science et de l'enseignement mathématiques. In-8°, 13 p. Paris, G. Carré. (Extr. de la *Revue générale des sciences pures et appliquées*.) (596)

Laplace. — Œuvres complètes de Laplace. Publiées sous les auspices de l'Académie des sciences par MM. les secrétaires perpétuels. T. 10. In-4°, 429 p. et planche. Paris, Gauthier-Villars et fils. 25 fr. (3154)

Laurent (H.). — Traité d'algèbre, à l'usage des candidats aux écoles du gouvernement 5e édition, en harmonie avec les nouveaux programmes, revue par *J.-H. Marchand*, ancien élève de l'École polytechnique. Troisième partie, à l'usage des classes de mathématiques spéciales. Théorie des équations. In-8°, 215 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 4 fr. (120)

Maltézos (C.). — Les enveloppes solides minces. Les cloches (thèse). In-4°, 61 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5889)

Mannheim (A.). — Principes et Développements de géométrie cinématique, ouvrage contenant de nombreuses applications à la théorie des surfaces. In-4°, ix-591 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 25 fr. (5377)

Méray (C.) — Leçons nouvelles sur l'analyse infinitésimale et ses applications géométriques. Première partie : Principes généraux. In-8°, xxiii-405 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 13 fr. (935)

Papelier (G.). — Leçons sur les coordonnées tangentielles. Avec une préface de M. *P. Appell*, membre de l'Institut. Première partie : Géométrie plane. In-8°, vi-329 p. Paris, Nony et Cie. (4933)

Périer (G.). — Sur une équation différentielle du troisième ordre (thèse). In-4°, 135 p. Paris, Nony et Cie. (665)

Reynès (P.). — Théorie sur la roulette. Combinaison de d'Alembert sur les chances simples : Nouvelles combinaisons, dites de d'Alembert, sur les douzaines ; Généralisation de la théorie de d'Alembert sur une combinaison quelconque de numéros. In-16, 20 p. Perpignan, imp. Latrobe. 1f,50. (2955)

Sparre (M. de). — Sur le mouvement des projectiles oblongs autour de leur centre de gravité et sur les conditions de stabilité de ces projectiles. In-8°, 57 p. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. 2f,50. (Extr. du *Mémorial de l'artillerie de la marine*.) (4421)

2° *Physique et Chimie.*

Bagard (H.). — Sur les forces électromotrices thermoélectriques entre deux électrolytes et le transport électrique de la chaleur dans les électrolytes (thèse). In-4°, 59 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (3025)

Barillé. — Dosage de l'azote nitrique dans les eaux à l'état de bioxyde d'azote. In-8°, 4 p. Paris, imp. Flammarion. (Extr. du *Journal de pharmacie et de chimie*.) (5469)

Berg (A.). — Études sur les dérivés chlorés des ammoniaques composées (thèse). In-4°, 79 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5755)

Causse (H.). — De la dissociation, thèse présentée au concours d'agrégation (section des sciences physiques). In-8°, 68 p. Orléans, imp. Pigelet. (3872)

Chassevant (A.). — Action des sels métalliques sur la fermentation lactique (thèse). In-4°, 64 p. Paris, Steinheil. (264)

Denigès (G.). — Étude thermique de la réaction de Liebig et Dosage du cyanure de mercure. In-8°, 6 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (Extr. du *Bull. des travaux de la Soc. de pharmacie de Bordeaux*.) (3919)

Desgrez (A.). — Contribution à l'étude des carbures non saturés (thèse). In-4°, 45 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5822)

Deuxième supplément au Dictionnaire de chimie pure et appliquée d'*Ad. Wurtz*, publié sous la direction de *Ch. Friedel*, professeur à la Faculté des sciences de Paris. Avec la collaboration de MM. P. Adam, A. Béhal, G. de Bechi, A. Bigot, L. Bourgeois, L. Bouveault, E. Burcker, C. Chabrié, P.-T. Cleve, Ch. Cloëz, A. Combes, C. Combes, A. Étard, Ad. Fauconnier, H. Gall, A. Gautier, H. Gautier, E. Grimaux, G. Griner, etc. Fascicule 19. In-8° à 2 col., p. 1441 à 1520. Paris, Hachette et Cie. 2 fr. (1404)

—— Fascicule 20. (Fin du t. 1er). In-8° à 2 col , p. 1521 à 1585. Paris, Hachette et Cie. 2 fr. (2337)

Garros (F.). — Contribution à l'étude des acides gummiques. Nouveau sucre en C^5 : « prunose » (thèse). In-4°, 95 p. Paris, G. Carré. (5562)

Guerbet.— Contribution à l'étude de l'acide campholique (thèse). In-8°, 83 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5851)

Lambert (A.-A.). — Étude sur la transmission de la chaleur. In-8°, 73 p. av. fig. Lille, imp. Danel. (*Société industrielle du nord de la France.*) (3681)

Meillère. — Dosage des acides gras insolubles et fixes dans les corps gras. In-8°, 4 p. Paris, imp. Flammarion. (Extr. du *Journal de pharmacie et de chimie.*) (1552)

Meslans (M.). — États allotropiques des corps simples. In-8°, 148 p. Paris, G. Carré. (3709)

Montpellier (J.-A.). — Cours pratique d'électricité. Électrostatique. In-18 jésus, vi-292 p. av. 121 fig. Paris, Grelot. 4 fr. (1436)

Ouvrard (L.). — États allotropiques des corps simples (thèse). In-4°, 98 p. Paris, G. Carré. (2700)

Philbert (C.-M.). — Étude d'acoustique. Essai sur le tuyau d'orgue à anche battante. In-8°, 63 p. Avranches, imp. Durand. (4641)

Talansier (C.). — Obus calorimétrique pour l'estimation de la valeur des combustibles solides, liquides et gazeux (méthode de M. Berthelot); Pouvoir calorifique des combustibles; Détermination par l'appareil de M. P. Mahler. In-8°, 20 p. av. fig. Paris, Golaz, 282, rue Saint-Jacques. (Extr. du *Génie civil.*) (4422)

Tanret (C.). — Étude sur les réactifs à base d'iodomercurate de potassium et d'iodure ioduré de potassium. In-18, 19 p. Paris, imp. Marpon et Flammarion. (Extr. du *Journal de pharmacie et de chimie.*) (177)

—— Sur les hydrates de carbone du topinambour. Troisième note. In-8°, 8 p. Paris, imp. Marpon et Flammarion. (Extr. du *Bull. de la Soc. chimique de Paris*). (178)

Thompson (A.). — Sur la recherche de l'acide borique et des borates dans le lait. In-8°, 4 p. Paris, 4, rue Antoine-Dubois. (Extr. des *Annales de la policlinique de Paris.*) (4680)

Van der Waals (J.-D.). — La continuité des états gazeux et liquides. Traduit de l'allemand et annoté par MM. *Dommer*, agrégé de l'Université, et *Pomey*, licencié ès sciences physiques et mathématiques, avec une préface de M. *Sarrau*, membre de l'Institut, et suivi de notes sur les travaux de MM. *Ph. Guye*, professeur à l'Université de Genève, et *Mathias*, chargé de cours à la Faculté de Toulouse. In-8°, xvi-280 p. Paris, Carré. (2990)

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

Aubert (F.). — Explication de la carte géologique provisoire de la Tunisie. In-8°, vii-92 p. av. fig. Paris, H. Barrère. (473)

—— Carte géologique provisoire de la régence de Tunis, dressée par *F. Aubert*. A l'échelle de 1/800.000. Paris, H. Barrère. (42)

Bleicher. — Sur quelques faits nouveaux relatifs à la fossilation osseuse. In-8°, 9 p. Nancy, imp. Berger-Levrault et Cie. (Extr. de la *Bibliogr. anatomique.*) (789)

—— Sur un nouvel horizon paléontologique du lias moyen de Lorraine. Nancy, imp. Berger-Levrault et Cie. (790)

Bertrand (C.-E.) et B. Renault. — *Reinschia australis* et Premières remarques sur le kerosene shale de la Nouvelle-Galles du Sud. In-8°, 105 p. et planches. Autun, imp. Dejussieu père et fils. (5758)

Bureau (E.). — Les collections de botanique fossile du Muséum d'histoire naturelle. In-4°, 26 p. Paris, Imprimerie nationale. (Extr. du *Volume commémoratif du centenaire de la fondation du Muséum d'hist. nat.*) (504)

Carte géologique détaillée de la France, à l'échelle de 1/80.000. N° 62 : Alençon, avec notice explicative. Paris, imp. Ehrard frères. 6 fr. (153)

—— N° 127 : Ornans, avec notice explicative. Paris, imp. Lemercier et Cie. 6 fr. (154)

Cotteau (G.). — Le Préhistorique en Europe. Congrès, Musées, Excursions. In-16, 313 p. av. 87 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. 3f,50. (1211)

Dollfus (G.-F.). — Recherches géologiques sur les environs de Vichy (Allier). In-8°, 67 p. et 5 pl. Paris, Comptoir géologique de Paris. (66)

Dyrion (L.). — Sources et Goules du Néocomien. Mécanisme de la fontaine de Vaucluse et Moyen d'en régulariser le débit; Applications. Gr. in-8°, 63 p. avec 14 tableaux et 17 pl. Avignon, imp. Millo et Cie. (2587)

Études des gîtes minéraux de la France, publiées sous les aus-

pices de M. le Ministre des travaux publics par le Service des topographies souterraines. Les Terrains tertiaires de la Bresse et leurs gites de lignites et de minerais de fer; par *F. Delafond*, ingénieur en chef des mines, et *C. Depéret*, professeur à la Faculté des sciences de Lyon. In-4°, 336 p. et atlas in-4° de 19 pl. Paris, Imp. nationale. (Ministère des travaux publics.) (1663)

Gaudry (A.). — L'Éléphant de Durfort. In-4°, 25 p. et pl. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Volume commémoratif du centenaire de la fondation du Muséum d'hist. nat.*) (552)

Girod (P.) et P. Gautier. — L'Homme préhistorique de Gravenoire. In-8°, 22 p. Paris, J.-B. Baillière et fils. (4541)

Lacroix (A.). — Les Enclaves des roches volcaniques. In-8°, 710 p. et pl. Mâcon, imp. Protat frères. (Extr. des *Annales de l'Acad. de Mâcon.*) (4587)

Lapparent (A. de). — Les Anciens Glaciers. In-8°, 167 p. avec gravures. Tours, Mame et fils. (599)

—— Traité de géologie. 3e édition, entièrement refondue. 2 vol. in-8°. Première partie : Phénomènes actuels, VIII p. et p. 1 à 567, avec 129 gravures dans le texte; deuxième partie, p. 577 à 1645, avec 597 gravures dans le texte. Paris, Savy. Les 2 volumes, 24 fr. (2909)

Lévy (M.). — Contribution à l'étude du granite de Flamanville et des granites français en général. In-8°, 41 p. avec 6 fig. et 5 pl. Paris, Baudry et Cie. (Extr. du *Bull. des Services de la carte géol. de la France et des topographies souterraines.*) (1094)

Lory (P.). — Études géologiques dans la chaine de Belledonne. Note sur la bordure occidentale du massif d'Allevard. In-8°, 42 pages avec fig. Grenoble, imp. Allier père et fils. (Extr. des *Annales de l'enseignement sup. de Grenoble.*) (921)

Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France. Recherches sur la craie supérieure. Deuxième partie : Paléontologie. Les Ammonites de la craie supérieure; par *A. de Grossouvre*, ingénieur en chef des mines. In-4°, 268 p. et atlas in-4° de 39 planches. Paris, Imp. nationale. (Ministère des travaux publics.) (1431)

Meunier (S.). — Revision des fers météoriques de la collection du Muséum d'histoire naturelle. In-8°, 81 p. avec fig. Autun, imp. Dejussieu père et fils. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'hist. nat. d'Autun.*) (2674)

Priem (F.) — La Terre, les Mers et les Continents. Géographie physique, Géologie et Minéralogie. Édition illustrée. Séries 6 à 9. Grand in-8°, p. 1 à 128. Paris, J.-B. Baillière et fils. (L'ouvrage paraîtra en 22 séries à 50 cent.) (685)

—— La Terre avant l'apparition de l'homme. Périodes géologiques; Faunes et Flores fossiles; Géologie régionale de la France. Séries 10 à 13. In-4° à 2 col., p. 289 à 416, avec gravures. Paris, J.-B. Baillière et fils. (L'ouvrage sera publié en séries à 50 c.) (1443)

—— —— Séries 14 à 18. In-4° à 2 col., pages 417 à 576, avec gravures. Paris, J.-B. Baillière et fils. (2445)

—— —— Séries 19 à 22 (fin). In-4° à 2 col., p. 577 à 707, avec gravures, plus VI p. Paris, J.-B. Baillière et fils. (3201)

Rapport sur les cartes agronomiques; par M. *Adolphe Carnot*. In-8°, 18 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Bull. du Ministère de l'agriculture.*) (4656)

Roussel (J.). — Étude stratigraphique des Pyrénées. In-8°, 306 p. avec 5 planches, une carte en couleur et 20 fig. Paris, Baudry et Cie. (Extr. du *Bull. des Services de la carte géol. de la France et des topographies souterraines.*) (1313)

Vézian (A.). — Considérations générales sur la géologie du massif jurassien. In-8°, 80 p. Besançon, imp. Dodivers et Cie. (4440)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Alheilig. — Construction et Résistance des machines à vapeur. In-16, 224 pages. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2f,50. (2251)

Chenevier. — Étude sur quelques houilles à vapeur (principalement du midi de la France). In-8°, 8 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (4499)

Colliez (H.). — Chauffage industriel. Note sur la grille articulée Wackernie. 2e édition. In-8°, 56 p. avec fig. Paris, Bernard et Cie. (5033)

Hamon (F.). — Appareils à vapeur. Manuel à l'usage des chauffeurs de locomobiles employées au battage des céréales et autres travaux nécessitant des déplacements. In-18, 68 p. Orléans, tous les libraires. (2615)

Héron d'Alexandrie. — Les Mécaniques, ou l'Élévateur, de *Héron d'Alexandrie*. Publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostà Ibn Lûqâ et traduites en français par M. le baron *Carra de Vaux*. In-8°, 318 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Journal asiatique.*) (3390)

Ladoux (P.). — Note au sujet des épreuves hydrauliques des gé-

nérateurs de vapeur du service de l'artillerie. In-8°, 11 p. avec figures. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. (Extr. de la *Revue d'artillerie.*) (4357)

Lavergne (G.). — La Pompe centrifuge et ses rendements possibles pour les élévations d'eau aux grandes hauteurs. In-8°, 14 pages avec fig. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (5601)

Lavezzari (A.). — Note sur les essais des machines à vapeur. In-8°, 44 p. avec fig. Paris, Bernard et Cie. (1898)

Marey (E.-J.). — Le Mouvement. Avec 214 figures dans le texte et 3 planches. In-8°, VI-335 p. Paris, G. Masson. (133)

Raffard (N.-J.). — Considérations sur le régulateur de Watt; Régulateur à double action centrifuge et tangentielle et à stabilité variable; Obturateur à mouvement louvoyant. In-8°, 29 p. avec figures. Clermont, imp. Daix frères. (Extr. des *Publications technologiques de la Société des anciens élèves des écoles d'arts et métiers.*) (3755)

Ringelmann. — Rapport sur les expériences effectuées à la station d'essais de machines agricoles (exercice 1891). In-8°, 40 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Bull. du Ministère de l'agriculture.*) (5678)

Sagnier (U.). — Du gazogène et de ses applications. In-8°, 46 p. avec fig. Lille, imp. Danel. (*Société industrielle du nord de la France.*) (4414)

Schmidt (E.). — Études de M. Leloutre sur la machine à vapeur, lecture faite à l'assemblée générale de la Société industrielle d'Amiens, le 31 juillet 1893. In-8°, 14 p. Amiens, imp. Jeunet. (Extr. du *Bull. de la Soc. industrielle d'Amiens.*) (992)

Sosnowski (K.). — Les turbines à vapeur, système G. de Laval. In-8°, 16 p. avec fig. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (5199)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Bloch (F.). — Eau sous pression. Appareils producteurs d'eau sous pression. In-16, 180 p. Paris, G. Masson; Gauthier-Villars et fils. 2f,50. (1180)

Burin (H.). — De l'acier et de sa trempe dans ses applications aux outils pour le travail des métaux, bois, pierres, etc. In-8°, 33 p. avec fig. Fives-Lille, H. Burin et fils, 38, rue Mirabeau. 0f,50. (5496)

Crépy (P.). — Éclairage électrique de la gare Saint-Lazare par la Société anonyme Cance. In-8°, 19 p. avec fig. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (63)

Deherain (P.-P.). — La Nitrification dans la terre arable. In-4°, 28 p. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Volume commémoratif du centenaire de la fondation du Muséum d'hist. nat.*) (525)

—— Le Travail du sol et la nitrification. In-8°, 24 p. Autun, imp. Dejussieu père et fils. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'hist. nat. d'Autun.*) (3914)

Durand (C.). — Les grandes industries minérales en Lorraine (sel, soude et fer). In-8°, 59 p. avec carte. Nancy, les principaux libraires. 1 fr. (538)

Foris (G.). — Installation de la station centrale d'électricité à Bruxelles. In-8°, 8 p. et planche. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (3646)

Helson (C.). — La Sidérurgie en France et à l'étranger. 2 vol. gr. in-8° et atlas de 475 planches. T. I, 614 p.; t. II, p. 615 à 1515, avec fig. Paris, Bernard et Cie. (1868)

Hospitalier (E.). — Formulaire de l'électricien. In-18, VII-391 p. av. fig. Paris, G. Masson. (5859)

Grange (C.). — Chaux et Sels de chaux appliqués à l'art de l'ingénieur. In-8°, VII-472 p. avec 81 fig. Paris, Baudry et Cie. (2156)

Guichard (P.). — L'Eau dans l'industrie : purification, filtration, stérilisation. In-18 jésus, VIII-417 p. avec 80 figures. Paris, J.-B. Baillière et fils. (3384)

Leblond (H.). — Électricité expérimentale et pratique. Cours professé à l'École des officiers torpilleurs. T. III, 2e fascicule : Applications de l'électricité. 2e édition. In-8°, pages 289 à 763, avec fig. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. 8 fr. (5107)

Le Verrier (U.). — Cours de métallurgie professé à l'École des mines de Saint-Étienne : « Métallurgie de la fonte ». In-8°, 236 p. et 17 pl. Saint-Étienne, Chevalier. Paris, Baudry et Cie. (9882)

Loppé (F.) et R. Bouquet. — Traité théorique et pratique des courants alternatifs industriels. 1er volume : Partie théorique. In-8°, VIII-280 p. av. fig. Paris, Bernard et Cie. 10 fr. (5887)

Marchena (R.-E. de). — Machines frigorifiques à air. In-16, 198 p. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2f,50. (2664)

—— Machines frigorifiques à gaz liquéfiables. In-16, 184 p. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2f,50. (3700)

Pionchon (J.). — Électricité industrielle. Cours fondé par la

Société des amis de l'Université. 1re année. (1893-1894.) Leçons sur les notions fondamentales relatives à l'étude et à la mesure de l'énergie électrique. 1re livraison. In-8°, 18 p. Bordeaux, Laurens. 0f,60. (1579)

Popp (V.). — L'Air comprimé à Paris : sa production, ses applications et son prix de revient. In-8°, 55 p. et 5 planches. Paris, Bernard et Cie. (5414)

Tainturier (C.). — Mémento de l'électricien. In-32, 98 p. Paris, Fritsch. (3232)

Thomas (H.). — Traité de télégraphie électrique. In-8°, IV-917 p. avec 702 grav. dans le texte. Paris, Baudry et Cie. (3783)

Ville (G.). — L'Analyse de la terre par les plantes. In-4°, 45 p. avec fig. et planche. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Volume commémoratif du centenaire de la fondation du Muséum d'hist. nat.*) (724)

Villon (A.-M.). — Le Phonographe et ses applications. In-16, 92 p. avec 38 fig. Paris, Tignol. (5230)

Weiss (P.). — Le Cuivre : origine, gisements, propriétés, métallurgie, applications, alliages. In-18 jésus, VIII-352 p. avec 96 figures. Paris, J.-B. Baillière et fils. (727)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Effère. — Les Mines du Goldberg au moyen âge. In-8°, 23 p. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (4324)

Launay (L. de). — Statistique générale de la production des gîtes métallifères. In-16, 196 p. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2f,50. (2191)

Moreau (G.). — Étude industrielle des gîtes métallifères. In-8°, 452 p. avec 80 fig. Paris, Baudry et Cie. 20 fr.

Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie pour l'année 1892, avec un appendice concernant la statistique minérale internationale. In-4°, XVI-235 p. avec diagrammes et carte en coul. Paris, Ve Dunod; Baudry et Cie. 10 fr. (Ministère des travaux publics.) (1320)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Barbier (J.-V.). — Le Canal des Deux-Mers devant le congrès des sociétés françaises de géographie tenu à Tours en 1893. In-8°, 31 p. et 1 planche. Nancy, imp. Berger-Levrault et Cie. (Extr. du *Bull. de la Soc. de géographie de l'Est.*) (3560)

Bricka (C.). — Cours de chemins de fer, professé à l'École nationale des ponts et chaussées. T. I : Études, Construction, Voie et Appareils de voie. In-8°, VIII-634 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (L'ouvrage complet en 2 vol., 40 fr.) (5489)

Carro (T.). — Les Chemins de fer et la Navigation intérieure; le Halage accéléré des bateaux par l'électricité et par l'air comprimé; Applications stratégiques et agronomiques de la navigation. In-8° avec 11 planches, 125 p. Meaux, Le Blondel; Paris, Desforges. (2834)

Carte du réseau des chemins de fer de la Compagnie d'Orléans, à l'échelle de 1/1.000.000. Gravée par Poulmaire. Paris, imp. Dufrénoy. (215)

Carte du réseau des chemins de fer de l'Est, à l'échelle du 1/1.000.000. (Situation au 31 décembre 1893.) Gravée par J. Jérome. Paris, impr. Dufrénoy. (355)

Couriot (H.). — Percement des tunnels dans les terrains mous, fluents ou très ébouleux (méthode Sokolowski). In-8°, 10 p. et 2 pl. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (5044)

Le Bris (G.). — Les Constructions métalliques. In-8° carré, 384 p. av. fig. Paris, May et Motteroz. (4362)

Hulewicz (M.). — Calculs de résistance des ponts et viaducs métalliques à poutres droites, d'après la circulaire ministérielle du 29 août 1891. In-8°, XV-216 p. av. fig. Paris, Baudry et Cie. (3133)

Lavezzari (A.). — Suppression des appareils de démarrage dans une locomotive compound de l'État autrichien. In-8°, 16 p. av. fig. et pl. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (909)

Lesueur (G.). — La locomotive électrique, système J. J. Heilmann. In-8°, 11 p. av. fig. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (2656)

Lévy-Lambert (A.). — Chemins de fer funiculaires. Transports aériens. In-8°, 338 p. av. fig. Paris, Baudry et Cie. 15 fr. (2200)

Résal (J.). — Ponts métalliques. T. 1er, 2e édition, revue et augmentée. Calcul des pièces prismatiques. Renseignements pratiques. Formules usuelles. Poutres droites à travées indépendantes. Ponts suspendus. Ponts en arc. In-8°, XLI-642 p. Paris, Baudry et Cie. (L'ouvrage complet en 2 vol., 40 fr.) (1130)

Rouché (E.) et C. Brisse. — Coupe des pierres, précédée des

principes du trait de stéréotomie. In-8°, CXC-216 p. av. fig. et atlas. Paris, Baudry et Cie. 25 fr. (1971)

Roy (E.). — Expériences et Études sur le passage en courbe du matériel roulant. In-8°, 60 p. av. fig. et pl. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (5186)

Sauvage (E.). — La Machine locomotive. Manuel pratique, donnant la description des organes et du fonctionnement de la locomotive, à l'usage des mécaniciens et des chauffeurs. In-16, XVI-327 p. av. fig. Paris, Baudry et Cie. (1974)

Sébillot (A.). — L'achèvement du Panama. Projet du canal maritime de Panama avec le chemin de fer à navires de la Culebra, raccordant les deux sections du canal à niveau. In-8°, 32 p. et 2 pl. Paris, impr. Lambert, Épinette et Cie. (3497)

Soudan (Le). Le chemin de fer du Sénégal au Niger et la Grande route commerciale de Bordeaux à Timbouctou. In-8°, 23 p. et planche en coul. Paris, imp. Mersch. (2973)

Vignes (E.). — La Traction mécanique des tramways. In-8°, 24 p. Paris, Bernard et Cie. (1997)

Zschokke (C.) et P. Terrier. — Application des procédés pneumatiques à la construction des grands ouvrages et plus spécialement des bassins de radoub. In-8°, 35 p. Paris, Baudry et Cie. (5719)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

Bernier (C.). — La Grève et les Accidents de chemins de fer, avec leurs principales causes. In-8°, 32 p. Paris, impr. Mayer et Cie. (3567)

Bouquet (L.). — La Réglementation du travail. Le Travail des enfants, des filles mineures et des femmes dans l'industrie. Commentaire de la loi du 2 novembre 1892. 3e édition. In-8°, VIII-524 p. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. 6 fr. (241)

Cheysson (E.). — Le budget de la prévoyance ouvrière, communication faite, le 4 mars 1894, à l'assemblée générale de la Société française des habitations à bon marché. In-8°, 16 p. Paris, imp. Chaix, 15, rue de la Ville-l'Évêque. (Extr. du *Bull. de la Société.*) (5881)

Davalan (C.). — Questions sociales. Caisses de retraites de secours. In-8°, 59 p. Lille, impr. Lopez et Lobert. (4507)

Lacava. — La Législation des accidents du travail en Italie. Projet de loi présenté par M. *Lacava*, ministre de l'agriculture, de l'industrie et du commerce, et modifié par la commission de la Chambre des députés. Analyse et traduction par *E. Gruner*, ingénieur civil des mines. In-8°, 16 p. Paris, 20, rue Louis-le-Grand. (Extr. du *Bull. du comité permanent du congrès des accidents du travail.*) (5593)

Milhaud (L.). — Les Questions ouvrières. Les réformes possibles et pratiques dans les questions ouvrières. In-18 jésus, 203 p. Paris, Giard et Brière. 2f,50. (5630)

Pic (P.). — Traité élémentaire de législation industrielle ; Première partie : Législation du travail industriel. In-18 jésus, 623 p. Paris, Rousseau. 5f,50. (5652)

Statistique générale des assurances ouvrières en Allemagne de 1885 à 1893, suivie d'un aperçu sur l'organisation intérieure de l'office impérial des assurances ; par *E. Gruner*, ingénieur civil des mines. In-8°, 55 p. Paris, 20, rue Louis-le-Grand. (Extr. du *Bull. du comité permanent du congrès des accidents du travail.*) (5694)

9° *Objets divers.*

Chesneau (G.). — Rapport sur le régime fiscal et l'industrie des huiles minérales en Autriche-Hongrie. In-4°, 75 p. Paris, Impr. nationale. (1303)

Fourtier (H.) et A. Molteni. — Les Projections scientifiques. Étude des appareils, accessoires et manipulations diverses pour l'enseignement scientifique par les projections. In-18 jésus, 296 p. av. gravures. Paris, Gauthier-Villars et fils. (303)

Galine (L.). — Traité général d'éclairage (huile, pétrole, gaz, électricité). In-8°, 418 p. av. fig. Paris, Bernard et Cie. 15 fr. (5077)

Revue technique de l'Exposition universelle de Chicago en 1893; par M. *Grille*, ingénieur civil des mines, MM. *H. Falconnet* et *Lelarge*, ingénieurs des arts et manufactures. 2 vol. in-8° av. fig. et 2 albums in-4°. Première partie : Architecture, LXVII-176 p. et album des planches 1 à 105-106; deuxième partie : Chaudières fixes et chaudières marines, 178 p. et album in-4° des planches 1 à 47-48. (5930)

Trotabas. — Expérience pratique de l'adoption des tubes à ailerons (système Serve) aux appareils de sucrerie. In-18, 8 p. Paris, Compagnie française des métaux, 10, rue Volney. (1458)

OUVRAGES BELGES.

DE KONINCK (L.-L.). — Traité de chimie analytique minérale, qualitative et quantitative. 2 vol. Liège. In-8°, XXXI-480 p. et XXIII-1064 p., av. 248 fig. et 1 pl. 25 fr.

OUVRAGES ANGLAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

BRIGGS (W.) and BRYAN (G.-H.). — The Elements of Co-ordinate Geometry. Part I: The Equations and Properties of the Right Line and Circle. 2nd ed. In-8°, XI-220 p. W. B. Clive. 8ᶠ,15.

—— —— An Elementary Text-Book of Mechanics. Book I, Dynamics. In-12, 192 p. Clive. 2ᶠ,50.

CAJORI (F.). — A History of Mathematics. In-8°, 420 p. Macmillan. 17ᶠ,50.

DOBBIE (A.-B.). — Text-Book of Solid or Descriptive Geometry, including Elementary Courses on Plane Geometry and Graphic Arithmetic. In-8°, 230 p. Blackie. 3ᶠ,15.

HIME (H.-W.-L.). — The Outlines of Quaternions. In-8°. Longmans. 12ᶠ,50.

KLEIN (F.). — Lectures on Mathematics, Delivered from August 28 to September 9, 1893. In-8°. Macmillan. 8ᶠ,15.

VAN WETTUM (T.-B.). — Researches on Matrices and Quaternions. Leyde. In-4°, 4-27 p. 3ᶠ,75.

WILLIAMSON (B.). — Introduction to the Mathematical Theory of the Stress and Strain of Elastic Solids. In-8°. Longmans. 6ᶠ,25.

2° *Physique et Chimie.*

BEDELL (F.) and CREHORE (A.). — Alternating Currents: An Analytical and Graphical Treatment for Students and Engineers. 2nd ed. In-8°, 325 p. Whittaker and C°. 13ᶠ,15.

BEHRENS (H.). — A Manual of Micro-Chemical Analysis. With an Introductory Chapter by Professor *J. W. Judd*. With 84 Illusts., Drawn by the Author. In-8°, 264 p. Macmillan. 7ᶠ,50.

BRIGGS (W.) and STEWART (R.-W.). — Elementary Qualitative Analysis. In-12, 80 p. Clive. 1ᶠ,90.

CARNEGIE (D.). — Law and Theory in Chemistry. In-8°, 220 p. Longmans. 7ᶠ,50.

CLOWES (F.) and COLEMAN (J.-B.). — Quantitative Chemical Analysis. 2nd ed. In-8°, 472 p. Churchill. 10ᶠ,65.

EMTAGE (W.-T.-A.). — An Introduction to the Mathematical Theory of Electricity and Magnetism. 2nd ed., Revised. In-8°, 264 p. Clarendon Press. 9ᶠ,40.

GREAVES (J.). — A Treatise on Elementary Hydrostatics. In-8°, 240 p. Cambridge Warehouse. 6ᶠ,25.

GREENHILL (A.-G.). — A Treatise on Hydrostatics. In-8°, 528 p. Macmillan. 9ᶠ,40.

HEAVISIDE (O.). — Electro-Magnetic Theory. Vol. I. In-8°, 480 p. « Electrician » Office. 15ᶠ,65.

HERTZ (H.). — Electric Waves: Being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity through Space. Authorised English Translation, by *D. E. Jones*. With a Preface by *Lord Kelvin*. In-8°, 286 p. Macmillan. 12ᶠ,50.

IVES (F.-E.). — Handbook to the Photochromoscope. By its Inventor. With Chapters on the Nature of Light and Theory of Colour by some of the First Authorities. In-12, 52 p. Simpkin. 1ᶠ,25.

MUIR (M.-M.-P.). — The Alchemical Essence and the Chemical Element: An Episode in the Quest of the Unchanging. In-8°. Longmans. 5ᶠ,65.

PHILLIPS (H.-J.). — Engineering Chemistry: A Practical Treatise for the Use of Analytical Chemists, Engineers, Ironmasters, Ironfounders, Students and Others. 2nd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 392 p. Crosby Lockwood and Son. 13ᶠ,15.

PRESTON (T.). — Theory of Heat. In-8°, 730 p. Macmillan. 24ᶠ,25.

STEWART (R.-W.). — Tutorial Physics. Vol. 3, A Text-Book of Light. 2nd ed. In-8°, 210 p. Clive. 4ᶠ,40.

THORPE (T.-E.). — Essays in Historical Chemistry. In-8°, 378 p. Macmillan. 10ᶠ,65.

ZWICK (D.-H.). — Optical Experiments: A Series of 150 Experiments, Showing the Laws of the Propagation, Reflection and Refraction of Light. Devised and Arranged after the Directions

of. — With 24 Woodcuts in the Text. In-8°, IV-54 p. Newmann. 2f,50.

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

Bird (C.). — Geology: A Manual for Students in Advanced Classes and for General Readers. In-8°, 426 p. Longmans. 9f,40.

Dawson (Sir J.-W.). — The Canadian Ice Age : Being Notes on the Pleistocene Geology of Canada. With Especial Reference to the Life of the Period and its Climatal Conditions. In-8°, 300 p. Montréal, Dawson. Scientific Publishing C°. 12f,50.

Lewis (H.-C.). — Papers and Notes on the Glacial Geology of Great Britain and Ireland. In-8°. Longmans. 26f,25.

Lydekker (R.). — Life and Rock : A Collection of Zoological and Geological Essays. Illust. In-8°, XI-221 p. Universal Press. 6f,25.

Penning (W.-H.). — A Text-Book of Field Geology. With a Section on Palæontology by *A. J. Jukes Browne*. 2nd ed., Revised and Enlarged. With Illusts, and Coloured Plate. In-8°, 330 p. Baillière, Tindall and Cox. 9f,40.

Poynting (J.-H.). — The Mean Density of the Earth : An Essay to which the Adams Prize was Adjudged in 1893 in the University of Cambridge. With Illusts. and 7 Folding Plates. In-8°, 176 p. C. Griffin and C°. 15f,65.

Smith (J.). — Monograph of the Stalactites and Stalagmites of the Cleaves Cove, near Dalry, Ayrshire. In-8°. Elliot Stock. 9f,40.

Tarr (R.-S.). — Economic Geology of the United States : With Briefer Mention of Foreign Mineral Products. In-8°, 520 p. Macmillan. 20 fr.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Bale (M.-P.). — Modern Shafting and Gearing, and the Economical Transmission of Power; A Handbook for Power Users. In-8°, 104 p. Rider. 3f,15.

Bjorling (P.-R.). — Water; or Hydraulic Motors. With 208 Illusts. In-8°, 286 p. Spons. 11f,25.

Diesel (R.). — Theory and Construction of a Rational Heat Motor. Translated from the German by *Bryan Donkin*. With 11 fig. in the Text and 3 Plates. In-8°, 82 p. Spons. 7f,50.

Ewing (J.-A.). — The Steam Engine, and other Heat Engines. In-8°, 376 p. Cambridge Warehouse. 18f,75.

Haeder (H.). — Handbook on the Steam Engine. For Makers and Draughtsmen. Illust. In-8°. Crosby Lockwood and Son. 11f,25.

Mc Donnell (R.-W.). — An Elementary Treatise on the Steam Engine. In-8°, 46 p. Dublin, Mc Gee. Simpkin. 3f,75.

Rigg (A.). — A Practical Treatise on the Steam Engine. 2nd ed., Revised and Enlarged. In-4°. Spons. 31f,25.

Steam Engine User : Being practical descriptions and illustrations of Stationary Steam Engine in its Various Forms, with Details of the Boiler and Furnace, their Appliances and Fittings, of the Engine, with Details of Modern Valve Gear, the Multiple Cylindered or Compounded System of Working, etc., etc., together with descriptions and illustrations of Heat Prime Movers other than the Steam Engine, such as the Gas Engine, the Hot Air and the Petroleum and Spirit Engines, by Various Writers. Edit. and arranged by *R. Scott Burn*. With about 130 Illusts. In-8°, 402 p. Ward, Lock and Bowden. 6f,25.

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Allsop (F.-C.). — Induction Coils and Coil Making : A Treatise on the Construction and Working of Shock, Medical and Spark Coils. With 118 Illusts. In-8°, 166 p. Spons. 4f,40.

Atkinson (P.). — The Electric Transformation of Power, and its Application by the Electric Motor, including Electric Railway Construction. In-8°, 240 p. Crosby Lockwood and Son. 9f,40.

Austen (W.-C. Roberts.). — An Introduction to the Study of Metallurgy. 3rd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 402 p. C. Griffin and C°. 15f,65.

Cox (F.-P.). — Continuous-Current Dynamos and Motors : Their Theory, Design and Testing. With Sections on indicator Diagrams, Properties of Saturated Steam, Belting Calculations. An Elementary Treatise for Students. In-8°, 271 p. Whittaker and C°. 9f,40.

Electrical Apparatus for Amateurs, in 5 Parts. Part 1, « How I Made my Telephones »; Part 2, « The Domestic Electric Light »; Part 3, « Magneto-Electric Machines », etc.; Part 4, « A Cylindrical Electrical Machine »; Part 5, « How I Built my First Coil ». Illust. with numerous Explanatory Sketches and Diagrams. Edit. by *Francis Chillon-Young*. In-8°, VIII-104 p. Ward, Lock and Bowden. 1f,25.

Graham (M.). — Practical Hints on the Construction and Working of Regenerator Furnaces : Being an Elementary Treatise on the System of Gaseous Firing Applicable to Horizontal and Inclined Retort Settings in Gas Work. In-12, 128 p. Spons. 3f,75.

Hornby (J.). — The Gas Engineer's Laboratory Handbook. In-8°, 308 p. Spons. 7f,50.

Houston (E.-J.). — Electrical Measurements, and others : Advanced Primers of Electricity. In-8°, 429 p. Whittaker and C°. 6f,25.

—— The Electric Transmission of Intelligence, and other Advanced Primers of Electricity. In-8°, 330 p. Whittaker and C°. 6f,25.

Johnston's Elements of Agricultural Chemistry. From the Edition by Sir *Charles A. Cameron*. Revised and in Great Part Re-written by *C. M. Aikman*. 17th. ed. In-8°, 500 p. W. Blackwood and Sons. 8f,15.

Parkhurst (C.-H.). — Dynamo and Motor Building for Amateurs with Working Drawings. In-12, 163 p. Whittaker and Cie. 5f,65.

Rose (T.-K.). — The Metallurgy of Gold : Being One of a Series of Treatises on Metallurgy. Written by Associates of the Royal School of Mines. Edit. by Professor *W. C. Roberts-Austen*. With numerous Illusts. In-8°, 466 p. C. Griffin and C°. 26f,25.

Salomons (Sir D.). — Electric Light Installations. Vol. 2. Apparatus : A Practical Handbook. 7th ed., Revised and Enlarged. With 296 Illusts. An Edition, mostly Re-written, of « Electric Light Installations and the Management of Accumulators ». In-8°, 290 p. Whittaker and C°. 9f,40.

Urbanitzky (A.-E. von). — Electricity in the Service of Man. From the German, by *R. Wormell*. Revised and Enlarged by *R. Mullineux Walmsley*. With more than 950 Illusts. In-8°, 1000 p. Cassell. 13f,15.

Verity (J.-B.). — Electricity up to Date, for Light, Power and Traction. New ed. Illust. In-8°, XII-226 p. Warne. 1f,90.

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Brough (B.-H.). — A Treatise on Mine Surveying. 4th ed., Revised. With numerous Engravings. In-8°, 342 p. C. Griffin and C°. 9f,40.

Burrow (J.-C.) and Thomas (W.). — 'Mongst Mines and Miners ; or, Underground Scenes by Flashlight : A Series of Photographs. With Explanatory Letterpress, Illustrating Methods of Working in Cornish Mines. In-fol. Camborne, Printing and Stationery C°. Simpkin. 26f,25.

Home Office. Mines. List of Mines Worked in the Year 1893 under the Coal Mines Regulation Act, 1887 ; the Metalliferous Mines Regulation Acts, 1872 and 1875 ; and the Slate Mines (Gunpowder) Act, 1882. Including some of the Openworks, Brineworks, etc., not under those Acts. 2f,50.

Lock (C.-G.-W.). — Mining and Ore Dressing Machinery. In-4°. Spons. 31f,25.

Louis (H.). — A Handbook of Gold Milling. In-8°, 516 p. Macmillan. 12f,50.

Mauchline (R.). — The Mine Foreman's Handbook of Practical and Theoretical Information on the Opening, Ventilating and Working of Collieries : Questions and Answers on Practical and Theoretical Coal-Mining. Designed to Assist Students and Others in Passing Examination for Mine Foremanship. New, Revised and Enlarged ed. Illust. In-8°. Low. 26f,25.

Prossard (J.-D.). — The Nickel Ores of Sudbury (Canada). In-12. G. Philip and Son. 2f,50.

Parliamentary. — Mines. Explosions from Coal Dust. Report to the Royal Commission by Mr *Hall*. Illusts., etc. 1f,05.

—— Herbertshire Colliery Explosion, Denny. Report, Plans. 1f,50.

—— —— Inspectors' Reports for 1893. N° 1. East Scotland District. 0f,75.

—— —— D°. N° 2. West Scotland District. 0f,65.

—— —— D°. N° 3. Newcastle District. 1f,50.

—— —— D°. N° 7. Liverpool District. 0f,65.

—— —— D°. N° 8. Midland District. 0f,55.

—— —— D°. N° 9. North Wales and Isle of Man District. 0f,35.

—— —— D°. N° 10. North Staffs. District. 0f,35.

—— —— D°. N° 11. S. Staffordshire District. 0f,35.

—— —— D°. N° 12. South Western District. 1f,80.

—— —— D°. N° 13. S. Wales District. 1f,80.

—— List of Mines Worked in 1893. 2f,50.

—— Mines. Statistical Summaries for 1893. 0f,95.

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Crosby (O.-T.) and Bell (L.). — The Electric Railway in Theory and Practice. 2nd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 416 p. Whittaker and C°. 13f,15.

KEMPE (H.-R.). — The Engineer's Year Book of Formulæ, Rules, Tables, Data and Memoranda in Civil, Mechanical, Electrical, Marine and Mine Engineering. With 700 Illusts. Specially Engraved for the Work. In-8°, VI-586 p. Crosby Lockwood and Son. 10 fr.

Parliamentary. — Railway Accidents. Returns and Inspectors' Reports for 1893. 0f,85.

—— Railway Rates and Charges. Select Committee. 2nd Report, Evidence, Appendix and Index. 1f,50.

PENDLETON (J.). — Our Railways, their Origin, Development, Incident and Romance. 2 vol. In-8°, 1120 p. Londres. 36 fr.

RANKINE (W.-J.-M.). — A Manual of Civil Engineering. 19th ed., Thoroughly Revised by *W. J. Millar*. In-8°, 836 p. C. Griffin and C°. 20 fr.

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

DE LISSA. — Companies' Work and Mining Law in New South Wales and Victoria. In-8°. Clowes. 13f,15.

JAMES (C.-A.). — Mining Royalties, their practical Operation and Effect. In-4°, 272 p. Londres. 7f,50.

WALMESLEY (O.). — Guide to the mining laws of the World. In-8°, XIV-331 p. Eyre and Spottiswood; Sweet and Maxwell. 7f,50.

9° *Objets divers.*

SCHULTZ (G.) and JULIUS (P.). — Systematic Survey of the Organic Colouring Matters. Translated and Edited, with Extensive Additions by *Arthur G. Green*. In-8°, 224 p. Macmillan. 26f,25.

WILSON (W.-H.). — A Manual of Practical Pattern-Making and Moulding. Specially Arranged. With numerous Illusts. For the Use of Technical Students, Artisans and Engineers. In-8°, 306 p. F. Heywood. 9f,40.

OUVRAGES SUISSES.

HÆUSLER (R.). — Die Lagenidenfauna der Pholadomyenmergel von Saint-Sulpice (Val de Travers). I. Abtlg. (Extr. des *Abhandl. d. schweiz. paläontol. Gesellschaft.*) Zürich. Bâle, Georg et C°. In-4°, 40 p. 5 pl. 8 fr.

DE LORIOL (P.). — Description des mollusques et brachiopodes des couches Séquaniennes de Tonnerre (Yonne). Accompagnée d'une étude stratigraphique par *J. Lambert*. (Extr. des *Mémoires de la soc. paléont. suisse.*) Genève. Bâle, Georg et C°. In-4°, 213 p., 12 pl. 20 fr.

OUVRAGES ALLEMANDS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

DANG (H.-T.). — Differential- och integralkalkylens användning. Senare delen. Upsal. In-8°, 178 p. 22f,50. (508)

FABER (F.). — Darstellende Geometrie mit Einschluss der Perspektive, insbesondere zum Gebrauche an Fortbildungs- und Baugewerkschulen, sowie zum Selbstunterricht. Nach dem Tode des Verfassers herausgegeben von *O. Schmidt*. 2 Tle. Dresde, G. Kühlmann. In-8°, XII-129 p. avec 11 pl. lith. 10 fr. (106)

GROTENDORST (N.-C.). — Beginselen der differentiaal- en integraalrekening. Bréda. In-8°, 6-425 p. 15 fr. (514)

HEFFTER (L.). — Einleitung in die Theorie der linearen Differentialgleichungen mit einigen unabhängigen Variabeln. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, XIV-258 p. avec 3 fig. 7f,50. (1298)

KLIMPERT (R.). — Lehrbuch der Bewegung flüssiger Körper (Hydrodynamik). II. Bd. 2 Hälfte. Für das Selbststudium und zum Gebrauche an Lehranstalten bearbeitet nach System Kleyer. Stuttgart, J. Maier. In-8°, VIII-136 p. 4f,40. (1706)

KRONECKER (L.). — Vorlesungen über Mathematik. Herausgegeben unter Mitwirkung einer von der königl. preussischen Akademie der Wissenschaften eingesetzten Commission. I. Bd. Herausgegeben von *Eug. Netto*. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, x-345 p. 15 fr. (1303)

MOLENBROEK (P.). — Anwendung der Quaternionen auf die Geometrie. Leyde, E.-J. Brill. In-8°, xv-257-8 p. 8f,75. (130)

SCHOTTEN (H.). — Inhalt und Methode des planimetrischen Unterrichts. Eine vergleichende Planimetrie. II. Bd. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, iv-410 p. 10 fr. (533)

VOGLER (C.-A.). — Lehrbuch der praktischen Geometrie. II. Tl. Höhenmessungen. I. Halbbd. Anleitung zum Nivellieren oder Einwägen. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, viii-422 p. avec 1 tableau, 94 fig. et 5 pl. 13f,75. (1717)

2° *Physique et Chimie.*

BEYRICH (K.). — Stoff- und Weltäther, eine leichtfasslich geschriebene Naturanschauung mit Gründen für die Auffassung des Weltäthers als Stoff und seiner bedeutsamen entscheidenden Rolle bei allen Naturerscheinungen. Herischdorff. Warmbrunn, M. Leipelt. In-8°, x-136 p. 3f,75. (92)

DU BOIS (H.). — Magnetische Kreise, deren Theorie und Anwendung. Berlin, J. Springer. Münich, R. Oldenbourg. In-8°, xiv-382 p. avec 94 fig. 12f,50. (1687)

GLUCKSMANN (C.). — Kritische Studien im Bereiche der Fundamentalanschauungen der theoretischen Chemie. II. Th. : Uber die Molekularhypothese. Vienne, F. Deuticke. In-8°, 74 p. 3f,15. (1295)

GRÜNWALD (F.). — Die Herstellung und Verwendung der Akkumulatoren in Theorie und Praxis. Halle, W. Knapp. In-12°, vi-144 p. avec 75 fig. 3f,75. (768)

Handbuch der Physik, unter Mitwirkung von F. Auerbach, F. Braun, E. Brodhun u. A. herausgegeben von *A. Winkelmann*. III. Bd. Livr. 18 et 19. Breslau, E. Trewendt. In-8°, avec fig. Chaque livraison 4f,50. (115)

—— —— III. Bd. Livr. 20. Breslau, E. Trewendt. In-8°, avec fig. 4f,50. (1296)

Handwörterbuch der Chemie, herausgegeben von *A. Ladenburg*. Unter Mitwirkung von Abel, Ahrens, Alexander, etc. Livr. 75. Brunswick, Vieweg. In-8°, p. 673-768. 3 fr. (116)

HELLMANN (G.). — Schneekrystalle. Beobachtungen und Studien.

Berlin, R. Mückenberger. In-8°, 66 p. avec 11 fig. et 8 pl. en héliograv. et phototyp. d'après des clichés microphotographiques de *R. Neuhauss*. 7f,50. (118)

HOPPE (E.). — Lehrbuch der Physik für höhere Lehranstalten. Leipzig, J.-A. Barth. In-8°, 4-iii-134 p. av. fig. et 1 carte. 2f,75. (518)

KIRCHHOFF (G.). — Vorlesungen über mathematische Physik. IV. Bd. Vorlesungen über die Theorie der Wärme. Herausgegeben von *Max Planck*. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, x-210 p. av. 17 fig. 10 fr. (522)

LILIENTHAL (T.). — Ein Beitrag zur Kenntniss des Irisins und ihm ähnlicher Kohlenhydrade. Jurjew, E.-J. Karow. In-8°, 70 p. 1f,90. (915)

MEDICUS (L.). — Kurzes Lehrbuch der chemischen Technologie. Zum Gebrauche bei Vorlesungen auf Hochschulen und zum Selbststudium für Chemiker. Livr. I. Tübingen, H. Laupp. In-8°, iv p. et p. 1-256, av. fig. (Paraîtra en 4 livraisons). 6f,25. (1949)

MEVES (F.). — Ueber eine Art der Entstehung ringförmiger Kerne und die bei ihnen zu beobachtenden Gestalten und Lagen der Attractionssphäre. Kiel. Leipzig, G. Fock. In-8°, 22 p. av. 1 pl. 1f,50. (527)

MEWES (R.). — Kraft und Masse, Bildner des Kosmos. (Identität der Naturkräfte.) I. u. II. Thl. Berlin, A. Friedländer. In-8°, iv-160 p. 7f,50. (1710)

SACK (G.). — Ueber die tägliche, jährliche und elfjährige Periode der Variationen der erdmagnetischen Kraft zu Greenwich. Altona. Göttingen, Vandenhœck und Ruprecht. In-4°, 53 p. av. 3 pl. 4f,50. (925)

SCHLEICHERT (F.). — Das diastatische Ferment der Pflanzen. (Extr. des *Nova Acta d. k. Leopold.-Carol. deutschen Akad. der Naturforscher.*) Halle. Leipzig, W. Engelmann. In-4°, 88 p. 4f,40. (926)

SNELLEN (H.). — Optotypi ad visum determinandum formulam $v = \frac{d}{D}$. Ed. 12. Berlin, H. Peters. In-8°, 34 p. av. 4 pl. 4f,40. (534)

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

CREDNER (H.). — Zur Histologie der Faltenzähne paläozoischer Stegocephalen. (Extrait des *Abhandl. d. k. sächs. Gesellsch. der Wissenschaften.*) Leipzig, S. Hirzel. In-8°, 78 p. av. 5 fig. et 4 pl. 5 fr. (101)

DEMITROV (L.). — Beiträge zur geologischen und petrographischen Kenntniss des Vitosa-Gebietes in Bulgarien. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. der Wissenchaften.*) Vienne, F. Tempsky. In-4°, 54 p. av. 3 pl. et 1 carte géol. 6f,40. (904)

v. GÜMBEL (K.-W.). — Geologie von Bayern. II. Bd. Livr. 8-10. Cassel, Fischer. In-8°. 35 fr. (112)

LŒWINSON-LESSING (F.). — Petrographisches Lexikon. (Beilage zu den *Sitzungsber. d. Naturforscher-Gesellsch. zu Jurjew.*) I. Thl. Jurjew. Berlin, R. Friedländer und Sohn. In-8°, 112 p. 5 fr. (917)

MARTINI und CHEMNITZ. — Systematisches Conchilien-Cabinet. In Verbindung mit Philippi, L. Pfeiffer, Duncker, etc., neu herausgegeben und vervollständigt von *H.-C. Küster*, nach dessen Tode fortgesetzt von *W. Kobelt*. Liv. 401 et 402. Nüremberg, Bauer und Raspe. In-4°, av. pl. col. Chaque livraison, 11f,25. (127)

—— —— Livr. 403-405. Nüremberg, Bauer und Raspe. In-4°, av. pl. color. Chaque livraison, 11f,25. (1306)

—— —— Sect. 133. Nüremberg, Bauer und Raspe. In-4°, av. pl. col. 33f,75. (128)

—— —— Sect. 134. Nüremberg, Bauer und Raspe. In-4°, av. pl. col. 33f,75. (1307)

ROTHPLETZ (A.). — Ein geologischer Querschnitt durch die Ost-Alpen, nebst Anhang über die sogenannte Glarner Doppelfalte. Stuttgart, E. Schweizerbart. In-8°, IV-268 p. av. 115 fig. et 2 pl. color. 12f,50. (924)

SCHULZ (A.). — Grundzüge einer Entwicklungsgeschichte der Pflanzenwelt Mitteleuropas seit dem Ausgange der Tertiärzeit. Iéna, G. Fischer. In-8°, IV-206 p. 5 fr. (1314)

WOLDRICH (J.-N.). — Reste diluvialer Faunen und des Menschen aus dem Waldviertel Niederösterreichs in den Sammlungen des k. k. naturhistorischen Hofmuseums in Wien. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. der Wissenschaften.*) Vienne, F. Tempsky. In-4°, 70 p. av. 9 fig. et 6 pl. 8f,15. (935)

ZITTEL (K.-A.). — Handbuch der Palaeontologie. Unter Mitwirkung von W.-Ph. Schimper und A. Schenk herausgegeben. I. Abtl. Palæozoologie. Livr. 16. (IV. Bd. 3. Lfg.) Münich, R. Oldenbourg. In-8°, XI p. et p. 593-799 av. 24 fig. (Fin). 9f,40. (142)

4° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

BEHRENS (H.). — Das mikroskopische Gefüge der Metalle und Legierungen. Vergleichende Studien. Hambourg, L. Voss. In-8°, VIII-170 p. av. 3 fig. et 16 pl. 17f,50. (1683)

OSTWALD (W.). — Elektrochemie. Ihre Geschichte und Lehre. Liv. 1. Leipzig, Veit und C°. In-8°, p. 1 à 80 av. fig. (Paraîtra en 8-10 livraisons. 2f,50. (1309)

SCHNABEL (C.). — Handbuch der Metallhüttenkunde. I. Bd. Kupfer, Blei, Silber, Gold. Berlin, J. Springer. In-8°, XIV-914 p. av. 571 fig. 30 fr. (1555)

WITT (O.-N.). — Die deutsche chemische Industrie in ihren Beziehungen zum Patentwesen. Mit besonderer Berücksichtigung der Erfindungen aus dem Gebiete der organischen Chemie. Berlin, R. Mückenberger. In-8°, VIII-143 p. 6f,25. (378)

5° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

ACHEPOHL (L.). — Das Niederrheinisch-Westfälische Bergwerks-Industrie-Gebiet. Berlin, Verlag der Industrie. 2e édition. In-8°, XIII-418 p.

VENATOR (M.). — Deutsch-spanisch-französisch-englisches Wörterbuch der Berg-und Hüttenkunde sowie deren Hülfswissenschaften. Leipzig, A. Twietmeyer. In-8°, 108 p. 6 fr.

6° *Construction. — Chemins de fer.*

Encyklopädie des gesamten Eisenbahnwesens in alphabetischer Anordnung. Herausgegeben von *Vct. Roll* unter redaktioneller Mitwirkung von *F. Kienesperger* und *Ch. Lang*. VI. Bd. Personenwagen bis Steinbrücken. Vienne, C. Gerold's Sohn. In-8°, p. 2619 à 3102, av. 239 fig., 12 pl. et 5 cartes. 12f,50. (1153)

GOLDHAN (G.) und H. v. RÖDER. — Eisenbahn-Güter-Tarif. Bestimmungen und Tarifsätze für den Güterverkehr zwischen den Stationen Chemnitz, Dresden-Altstadt, Dresden-Friedrichstadt, Dresden-Neustadt (Leipziger und Schlesischer Bahnhof), Dresden-Elbkai (Altstadt und Neustadt), Glauchau, Leipzig, I (Bayerischer Bahnhof), Leipzig II (Dresdner Bahnhof), Plauen i/V. (oberer und unterer Bahnhof), Reichenbach i/V., Zittau (Sächsische Staatsbahn) und Zwickau einerseits und sämmt-

lichen deutschen Verbandsstationen andererseits. Dresde, G.-A. Kaufmann. In-8°, v-336 p. 10 fr. (1155)

7° *Législation. — Économie politique et sociale.*

Eger (G.). — Das internationale Uebereinkommen über den Eisenbahnfrachtverkehr. Vom 14. Oktober 1890. Erläutert mit eingehender Berücksichtigung der Materialien, insbesondere des schweizer und deutschen Entwurfs nebst Motiven, sowie der Protokolle der internationalen Konferenzen von Bern, von *G. E.* 4. Heft. Berlin, C. Heymann. In-8°, XII p. et p. 701 à 804 (Fin). 2f,50. L'ouvrage complet, 20 fr. (457)

Höpker (A.). — Die gewerbe und sozialpolitischen Gesetze für das Deutsche Reich und den Preussischen Staat nebst Ausführungsanweisungen. (Sonderabdruck des V. Bds. der preussischen Verwaltungsgesetze von *M. v. Brauchitsch*). Berlin, C. Heymann. In-8°, VIII-850 p. 12f,50. (471)

Karpeles (B.). — Die Arbeiter des mährisch-schlesischen Steinkohlen-Revieres. I. Bd. 1. Hälfte. Leipzig, Duncker und Humblot. In-4°, VIII-149 p. 8f,50. (1651)

Rosenthal (E.). — Internationales Eisenbahn-Frachtrecht. Iéna. In-8°, XXII-398 p. 11f,25. (1670)

Ziegler (H.-E.). — Die Naturwissenschaft und die socialdemokratische Theorie, ihr Verhältniss dargelegt auf Grund der Werke von Darwin und Bebel. Zugleich ein Beitrag zur wissenschaftlichen Kritik der Theorien der derzeitigen Socialdemokratie. Stuttgart, F. Enke. In-8°, VI-252 p. 5 fr. (539)

8° *Objets divers.*

Beck (L.). — Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. II. Abtlg. Vom Mittelalter bis zur neuesten Zeit. I. Tl. Das 16. und 17. Jahrhundert. Liv. 2. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°. 6f,25. (357)

—— Liv. 3 et 4. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°. Chaque livraison, 6f,25. (1537)

Cohn (F.). — Die klimatischen Verhältnisse von Königsberg, nach 45-jährigen meteorologischen Beobachtungen dargestellt. (Extr. des *Astronom. Beobachtungen auf d. k. Universitäts-Sternwarte in Königsberg*). Königsberg, W. Koch. In-f°, 52 p. av. 3 pl. 3f,75. (1287)

Gross-Industrie (Die) des Königreichs Sachsen in Wort und Bild. Eine Ehrengabe für Se. Maj. König Albert von Sachsen, gewidmet von den dankbaren Gross-Industriellen. II. Thl. Leipzig, Eckert und Pflug. In-4°, 90 pl. phototyp. av. VII p. et 116 f. de texte. 62f,50. (1545)

OUVRAGES RUSSES.

Kitaeff (N.). — L'exploitation de l'or au Cyankali dans l'Afrique australe. Saint-Pétersbourg. In-8°, 126 p. (en russe). 15 fr.

Songin (O.-O). — L'acier dans les constructions et dans la construction des machines. Saint-Pétersbourg. In-8°, 3-6-443 p. (en russe). 15 fr.

Tschernyschew (T.). — Die Fauna des unteren Devon am Ostabhange des Ural. (Extr. des *Mémoires du comité géologique.*) Saint-Pétersbourg, Eggers et Cie. In-4°, V-221 p. av. 6 fig. et 14 pl. (en russe et en allemand). 22f,50.

OUVRAGES ITALIENS.

1° *Mathématiques et Mécaniques pures.*

Campanile (F.). — Galileo Galilei fisico e matematico : discorso letto per la ricorrenza del terzo centenario dell' assunzione di Galileo Galilei alla cattedra di Padova. Naples, tip. F. Giannini e figli. In-8°, 22 p. (Extr. du journal *L'Ateneo.*) (1059)

Carlini (L.). — Saggio d' una teoria generale delle progressioni aritmetiche. Trevise, tip. L. Zoppelli. In-8°, 28 p. (2182)

Cesàro (E.). — Corso di analisi algebrica, con introduzione al calcolo infinitesimale. Turin, fr. Bocca. In-8°, VIII-499 p. av. fig. 12 fr. (280)

Egidi (G.). — Sulla teoria elementare delle quantità incommen-

surabili e dei numeri irrazionali : nota. Rome, tip. delle Scienze matematiche e fisiche. In-4°, 23 p. (Extr. des *Atti dell' accad. pontif. de' nuovi Lincei.*) (3029)

Fais (A.). — Sopra alcuni casi d' integrazione delle equazioni differenziali totali di 1° ordine e grado a tre variabili : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 10 p. (Extr. du *Rendiconto delle sessioni d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (3402)

Fano (G.). — Sopra le curve di dato ordine e dei massimi generi di uno spazio qualunque : memoria. Turin, C. Clausen. In-4°, 50 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze di Torino.*) (282)

Formulario di matematica e fisica. Florence, succ. Le Monnier. In-24, 128 p. 1 fr. (3790)

Franchetti (G.). — Cenni storici sulle matematiche elementari. Sassari, tip. U. Satta. In-8°, 68 p. (1830)

—— Delle curve generate da un punto del piano di un circolo quando questo ruota su linee date nel suo piano. Sassari, tip. U. Satta. In-8°, 55 p. av. planche. (1831)

Galilei Galileo. — Le opere. Edizione nazionale sotto gli auspicî di Sua Maestà il Re d' Italia. Volume IV. Florence, tip. G. Barbèra. In-4°, 794 p. av. fig. (3404)

Mollame (V.). — Sulle equazioni abeliane reciproche le cui radici si possono rappresentare con z, $0z$, 0^2z,... $0^{n-1}z$: memoria I. Turin, C. Clausen. In-4°, 44 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze di Torino.*) (285)

Pepin (T.). — Démonstration du théorème de Fermat sur les nombres polygones : note. Rome, impr. des Sciences mathématiques et physiques. In-4°, 15 p. (Extr. des *Atti dell' accad. pontif. de' nuovi Lincei.*) (3034)

Sanctis (P. de). — Teoremi sulla teoria dei numeri : nota. Rome, tip. delle Scienze matematiche e fisiche. In-4°, 3 p. (Extr. du même recueil.) (3036)

Ruffini (F.-P.). — Delle linee piane algebriche, le pedali delle quali possono essere curve che hanno potenza in ogni punto del loro piano ; memoria II. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 16 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (3411)

Vivanti (G.). — Il concetto d' infinitesimo e la sua applicazione alla matematica : saggio storico. Mantoue, tip. G. Mondovi. In-8°, 134 p. av. pl. 3 fr. (3413)

2° *Physique et Chimie.*

Bartoli (A.). — Di alcune recenti misure calorimetriche ed in particolare della misura del calore solare. Pavie, tip. succ. Bizzoni. In-8°, 39 p. (1828)

Ciamician (G.) e Silber (P.). — Ricerche sugli alcaloidi del melagrano ; sulla pseudopelletierina granatonina : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 24 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (1061)

Colli (N. de'). — Gli studî sull' ozono in Italia, a proposito d' un recente libro inglese. Florence, tip. R. Baroni e C. In-16, 77 p. 1f,25. (3026)

Giorgis (G.). — Relazioni di alcuni studî chimici fatti per incarico del ministero della pubblica istruzione : divisione dell' arte antica. Cuneo, tip. Oggero e Brunetti. In-8°, 12 p. (654)

Keller (F.). — Risultati di alcune misure relative della intensità orizzontale del magnetismo terrestre, eseguite nel 1893 lungo il parallelo di Roma : nota. Rome, tip. Elzeviriana di Ad. ved. Pateras. In-8°, 19 p. (3791)

Lombardi (L.). — Lenta polarizzabilità dei dielettrici, la seta come dielettrico nella costruzione dei condensatori : memoria. Turin, C. Clausen. In-4°, 70 p. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze di Torino.*) (2615)

Magnani (F.). — Azione dei cloruri di zolfo sull' acetilacetone : tesi. Bologne, soc. tip. già Compositori. In-8°, 39 p. av. fig. (1066)

Marianini (A.). — Su alcune particolarità delle correnti Leida-elettriche : memoria. Florence, tip. S. Landi. In-8°, 11 p. (Extr. de la *Rivista scientifico-industriale.*) (657)

Marcacci (A.). — La formazione e la trasformazione degli idrati di carbonio nelle piante : rivendicazione. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 6 p. (Extr. de la *Malpighia.*) (3031)

Palladino (P.). — Contributo allo studio chimico dei fiori di *Bassia.* Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali.*) (1068)

Panebianco (R.). — Fenomeni che presentano le lamine a faccie parallele di sostanze birifrangenti scolorate poste fra i nicol. Padoue, tip. Cooperativa. In-8°, 14 p. (Extr. de la *Rivista di mineralogia e cristallografia italiana.*) (660)

Raccolta di analisi chimiche di acque derivate o da derivare per usi civici. Rome, tip. Nazionale di G. Bertero. In-8°, XVI-215 p. (2618)

Righi (A.). — Apparecchio da lezione per la composizione delle oscillazioni pendolari : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 10 p. av. fig. et 1 pl. (2620)

—— Di un nuovo elettrometro idiostatico assai sensibile : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 14 p. av. fig. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (2621)

Salvioni (E.). — Ricerche sulle onde elettriche stazionarie. Pérouse, tip. Boncompagni. In-8°, 36 p. avec fig. (290)

Sestini (F.) e D. Martelli. — Analisi chimica dell' acqua ferromagnesifera della polla di Piersanti presso Nugola (Collesalvetti). Florence, tip. Cenniniana. In-8°, 27 p. (1832)

Zenoni (Menotti). — Azione del β naftolo sulle aldeidi nitrobenzoiche. Milan, tip. del Riformatorio patronato. In-8°, 6 p. (Extr. du *Bollettino chimico-farmaceutico.*) (1445)

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

Baretti (M.). — Geologia della provincia di Torino. Turin, F. Casanova. In-8°, xv-732 p. (3023)

Bellardi (L.). — I molluschi dei terreni terziarî del Piemonte e della Liguria. Parte VII-XIII (Harpidae, Cassididae, Galeodoliidae, Doliidae, Ficulidae, Naticidae, Scalariidae, Aclidae, Terebridae, Pusionellidae, Eulimidae, Pyramidellidae, Ringiculidae, Solariidae, Scalariidae, Conidae et Conorbidae), completata e condotta a termine dal dott. *F. Sacco.* Turin, C. Clausen. In-4°, 8 vol. (92-114-102-66-100-86-143 p.) avec 21 pl. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze di Torino.*) (3395)

Brugnatelli (L.). — Studio cristallografico di alcuni nuovi composti solfonici. Padoue, tip. Cooperativa. In-8°, 4 p. avec fig. (Extr. de la *Rivista di mineralogia e cristallografia italiana.*) (3788)

Cancani (A.). — Sulle ondulazioni provenienti da centri sismici lontani : studio. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-4°, 12 p. (Extr. des *Annali dell' ufficio centrale di meteorologia e geodinamica.*) (2608)

Corti (B.). — Sul bacino lignitico di Pulli, in comune di Valdagno (provincia di Vicenza) : nota paleontologica. Pavie, tip. succ. Bizzoni. In-8°, 8 p. (Extr. du *Bollettino scientifico.*) (1062)

Fornasini (C.). — Contributo alla conoscenza della microfauna terziaria italiana : foraminiferi delle marne messinesi; collezioni O.-G. Costa e G. Seguenza (Museo di Napoli) : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 32 p. avec 3 pl. (Extr. des *Memorie d. r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (3403)

Grablovitz (G.). — Sul periodo sismico di Monte Saraceno Montesantangelo nell' estate del 1893 : nota. Rome, tip. dell' Unione cooperativa editrice. In-4°, 32 p. avec fig. et 1 pl. (Extr. des *Annali dell' ufficio centrale di meteorologia e geodinamica.*) (2613)

Jatta (A.). — Sui generi *Ulocodium* e *Nemacola* di Massalongo. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 11 p. avec planche. (Extr. de la *Malpighia.*) (1438)

Jorio (F.-Di). — La meccanica celeste ed il terremoto : rapporti dinamici dedotti dal calcolo sulle teorie di Newton. Seconda edizione. Campobasso, tip. Jamiceli. In-8°, 11 p. (1439)

Lupi (A.). — Nota preliminare sopra una nuova caverna della Liguria. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 10 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (3406)

Matteucci (R.-V.). — La fine dell' eruzione vesuviana (1891-1894). Turin, tip. del collegio degli Artigianelli. In-16°, 8 p. (Extr. du *Bollett. mensuale dell' osservatorio di Moncalieri.*) (2185)

Pezzoli (R.). — Paletnologia popolare : l' età della pietra nel bolognese. Bologne, L. Andreoli. In-8°, viii-40 p. 2 fr. (289)

Savio (C.-F.). — L' evoluzione e l' origine dell' uomo. Milan, G. Palma. In-16, 57 p. 0f,15. (291)

Traverso (S.). — Ricerche geognostiche e microscopiche su alcune rocce dell' alto Canavese. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 31 p. avec planche. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (3801)

Tschermak (G.). — Trattato di mineralogia. Seconda edizione tradotta dalla terza edizione tedesca, col consenso dell' autore, dal Prof. *Grattarola.* Parte speciale. Florence, succ. Le Monnier. In-8°, lviii-290 p. av. fig. 7f,50. (3802)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Corvetto (V.). — Formole per il calcolo della pressione media del vapore senza l' uso dei logaritmi. Cagliari, tip. G. Dessi. In-8°, 17 p. (1434)

Eichelter (G.). — Prescrizioni di legge intorno alle caldaie a vapore per istruzione dei macchinisti e dei sorveglianti di

caldaie a vapore. Seconda edizione. Trieste, Club fra i macchinisti del Lloyd austriaco. In-8°, 36 p. (727)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Brunè (E.). — La trasmissione simultanea telegrafica e telefonica sullo stesso filo : nuovo sistema antinduttore. Ferrare, tip. Taddei. In-8°, 32 p. avec fig. (278)

Fazi (F.). — L'illuminazione a luce elettrica e il trasporto di forza motrice per la città di Foligno : relatione presentata al consiglio communale. Foligno, tip. Cooperativa. In-8°, 32 p. (2575)

Marchese (E.). — Electrométallurgie : le zinc; traitement des minerais sulfurés mixtes (zinc, plomb, argent, cuivre et fer). Turin, impr. L. Roux et C^e^. In-4°, 34 p. (2264)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Scacchanoce (G.). — Sulla questione degli zolfi : considerazioni. Messine, tip. Saya e Anastasi. In-4°, 16 p. (2271)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Canovetti (C.). — Ferrovia Parma-Spezia, galleria del Borgallo : studio delle deformazioni avvenute. Florence, stab. tip. Fiorentino. In-8°, 25 p. av. planche. (Extr. de la *Rivista generale delle ferrovie.*) (340)

Codice (Il) per l'ingegnere : raccolta delle leggi e dei regolamenti relativi alla professione degli ingegneri, costruttori ed appaltatori di lavori pubblici, agenti di campagna, industriali, ecc., per l'ing. *Stefano Venturini*. Seconda edizione. Rome, tip. Perino. In-16, XXIII-392 p. 5 fr. (3839)

Costruttore (Il) : Trattato pratico delle costruzioni civili, industriali e pubbliche, delle arti ed industrie attinenti, disposto alfabeticamente, ad uso dell' ingegnere civile ed industriale, dell' architetto, dell' agronomo, dei capimastri, imprenditori, industriali, ecc. Opera illustrata da oltre 4.000 incisioni. Disp. 95-108. Milan, F. Vallardi. In-4°, p. 97-464 av. fig. et 5 pl. (1113-2665)

Costruzione ed esercizio delle strade ferrate e delle tramvie : norme pratiche dettate da una eletta di ingegneri specialisti.

Disp. 85-91. Turin, Unione tipografico-editrice. In-4°, p. 1-64, p. 65-115, p. 81-91, p. 1-16, p. 1-40, p. 153-200, p. 1-38, p. 41-96, av. fig. et 22 pl. 2 fr. la livraison. (2222-3073-3840)

Giorgis (G.). — Sulla presa del cemento Scott : nota (chimica). Cuneo, tip. Oggero et Brunetti. In-8°, 7 p. (655)

Jacobi (F.-C.). — La posa del binario in curva : breve cenno sulla scelta delle rotaie di compenso per la fuga interna. Pise, tip. T. Nistri e C. In-4°, 18 p. (1115)

Kölbel (V.). — Nuova disposizione di blocco automatico ferroviario. Milan, tip. degli Operai. In-8°, 12 p. (Extr. de la revue *L'Industria*). (688)

Lampugnani (G.). — Le linee di accesso al Gottardo (Saronno-Mendrisio) : lettura fatta al collegio degli ingegneri ed architetti. Milan, tip. Civelli. In-8°, 27 p. (3468)

Martinez (G.). — La trazione elettrica. Milan, U. Hoepli. In-8°, IX-347 p. av. fig. 7^f^,50. (1116)

Relazione sulle costruzioni e sull'esercizio delle strade ferrate italiane per gli anni 1888-1890. Volume I (Esercizio), fasc. 3 : Movimento e traffico 1890 (Ministero dei lavori publici : r. ispettorato generale delle strade ferrate). Rome, tip. Nazionale di G. Bertero. In-4°, VII-435 p. (1474)

Statistica dell' eserzizio, anno 1891. Parte II : statistica del traffico (Società italiana per le strade ferrate meridionali : esercizio della rete adriatica). Florence, tip. G. Civelli. In-4°, 181 p. (1118)

8° *Économie politique et sociale.*

Boccaccini (A.). — Ferrovieri e fascio ferroviario ; cronaca retrospettiva contemporanea : conferenza, lettere e note. Milan, tip. A. Rigoldi e C. In-8°, 70 p. 0^f^,25. (1001)

Gambuzzi (E.). — Degli istituti di previdenza del personale delle reti ferroviarie adriatica, mediterranea e sicula : relazione del comitato di ferrovieri, eletto col mandato di promuovere l' assetto finanziario ed il riordinamento di detti istituti non che la rappresentanza elettiva dei compartecipanti nell' amministrazione degli istituti medesimi (Comizio tenuto a Milano il 23 maggio 1893). Milan, tip. C. Aliprandi. In-8°, 31 p. 0^f^,15. (729)

Salariato (Il) a scala mobile nelle ferrovie : (Società macchinisti e fuochisti ferroviari italiani). Milan, tip. A. Koschitz e C. In-16, 23 p. (2980)

9° *Objets divers.*

Bassi (R.). — Apparecchio azimutografo per il controllo o la semplificazione del rilevamento tacheometrico. Udine, tip. Cooperativa. In-8°, 11 p. (2180)

Giacomelli (L.). — Intorno al grado di infiammabilità dei petroli: relazione alla camera di commercio ed arti di Firenze. Florence, tip. G. Carnesecchi e figli. In-16, 16 p. (3882)

Guarducci (F.). — Sui progressi fatti dall'astronomia geografica nella determinazione delle latitudini e nelle misure di archi terrestri : relazione. Gênes, tip. Sordomuti. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti del primo congresso geografico italiano.*) (656)

Pricolo (A.). — Influenza della costituzione chimica molecolare sulla forma degli animali. Pise, tip. Citi. In-8°, 14 p. (Extr. du *Giornale d'ippologia.*) (2617)

Raddi (A.). — Sull'infiammabilità del petrolio : nota igienico-industriale. Florence, tip. S. Landi. In-8°, 19 p. (Extr. de la *Rivista scientifico-industriale.*) (3891)

Ruotolo (R.). — Corso di topografia e sue applicazioni : rilevamento catastale, agrimensura, ecc. Volume II (Altimetria, omnimetria ordinaria, celerimetria e applicazione della topografia). Naples, tip. Giannini e figli. In-8°, VIII-330 p. av. fig. 12f,50. (1851)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME CINQUIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages.

Sur un gisement de phosphates de chaux et d'alumine contenant des espèces rares ou nouvelles et sur la genèse des phosphates et nitres naturels; par M. *A. Gautier*. 5

Études sur le bassin houiller du Nord et sur le Boulonnais; par M. *Marcel Bertrand*. 569

EXPLOITATION DES MINES. — GITES MINÉRAUX.

Les eaux minérales de Pfæfers-Ragatz (canton de Saint-Gall, Suisse); par M. *de Launay*. 139

Aperçu général sur l'industrie minérale de la Russie; par M. *A. de Keppen*. 180

— (*Suite et fin*). 279

Les richesses minérales de la Nouvelle-Zélande; par M. *de Launay*. 523

CHIMIE. — MÉTALLURGIE.

L'industrie du pétrole aux États-Unis d'Amérique; par MM. *Riche* et *Roume*. 67

MÉCANIQUE. — MACHINES.

Revue de mécanique appliquée. Pneumatique; par M. *Ed. Sauvage*. 413

Note sur les corrosions par pustules des chaudières à vapeur; par M. *Olry*. 636

CHEMINS DE FER.

Pages.

Note sur l'appareil Flamache pour le cantonnement des trains; par M. *Beaugey*. 54

Note sur les boîtes à huile à doubles plans inclinés et l'attelage convergent des locomotives pour voies à profil accidenté; par M. *Ernest Polonceau*. 172

LÉGISLATION. — ÉCONOMIE SOLIALE.

Législation étrangère. — Pologne russe. — Loi sur les mines du 28 avril / 10 mai 1892. — Notice et traduction par M. *Jules Ichon*. 369

Note sur les impôts des mines en Prusse; par M. *J. Ichon*. 555

OBJETS DIVERS.

Statistique de l'industrie minérale de la France. — Tableaux comparatifs de la production des combustibles minéraux, des fontes, fers et aciers, en 1892 et 1893. 403

BULLETIN.

Statistique de l'industrie minérale de la Belgique en 1892. 131

Statistique de l'industrie minérale de la Hongrie en 1892. 138

Gîtes de charbon du Tenasserim. 274

Production des mines et des usines métallurgiques de la Suède, en 1892. 276

Les richesses minières de Terre-Neuve; par M. *L. de Launay* 395

Statistique de l'industrie minérale de l'Italie en 1891 et 1892 401

Les mines d'argent d'Oruro (Bolivie); par M. *Wiener*. 511

Statistique de l'industrie minérale et métallurgique de la Prusse en 1892. 521

Emploi du feu vert pour les signaux de chemins de fer. 522

Les gîtes métallifères des États-Unis. 663

Mines de bismuth et d'antimoine de Bolivie. 667

Législation étrangère.

Pages.

Royaume de Siam. Règlement sur la recherche et l'exploitation des mines. 277

— — *Erratum*. 522

État indépendant du Congo. Décrets des 8 juin 1888 et 20 mars 1893 sur le régime des mines. 278

Bolivie. Lois des 13 octobre 1880 et 22 avril 1893 565

BIBLIOGRAPHIE.

Premier semestre de 1893.

Ouvrages français 669

Ouvrages belges. 682

Ouvrages anglais. 682

Ouvrages suisses. 689

Ouvrages allemands. 689

Ouvrages russes. 695

Ouvrages italiens 695

ERRATA

Page 193, au premier tableau, lignes 3 et 4, *au lieu de :*

Platine	4.236 kilog.	2.586.250 fr.
Cuivre	5.455 ton.	2.492.070

lire :

Platine	4.236 kilog.	4.538.000 fr.
Cuivre.	5.455 ton.	10.658.208

et à la 3e ligne au-dessous du même tableau, *au lieu de :* « 315.664.846 fr. », *lire :* « 325.782.734 fr. ».

Page 460, lignes 18 et 25, *au lieu de :* « $a_2v_2 - a_1v_1$ », *lire :* « $a_2u_2 - a_1u_1$ ».

Pages 461, 462 et 469, *remplacer de même* v_1 et v_2 *par* u_1 et u_2.

Page 468, ligne 20, *au lieu de :* « $gH = u_2v_2 - u_1v_1$ », *lire :* « $gH = a_2u_2 - a_1u_1$ ».

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME CINQUIÈME.

Pl. I. — Appareil Flamache pour le cantonnement des trains.

Pl. II. — Industrie du pétrole aux États-Unis d'Amérique.

Pl. III et IV. — Eaux minérales de Pfæfers-Ragatz.

Pl. V et VI. — Boîtes à huile à doubles plans inclinés et attelage convergent des locomotives pour voies à profil accidenté.

Pl. VII et VIII. — Industrie minérale de la Russie.

Pl. IX. — Richesses minérales de la Nouvelle-Zélande.

Pl. X et XI. — Études sur le bassin houiller du nord et sur le Boulonnais.

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

1.

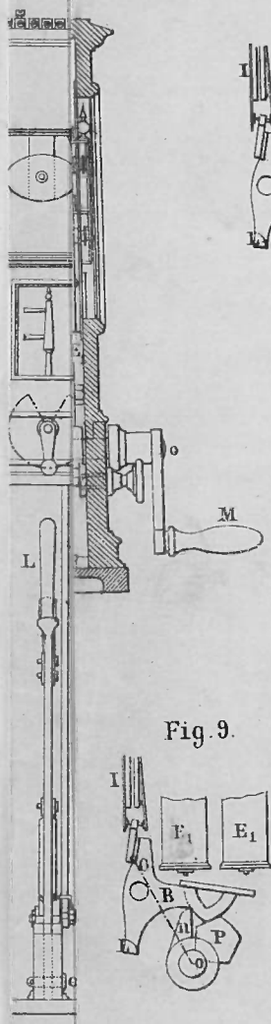


Fig. 5

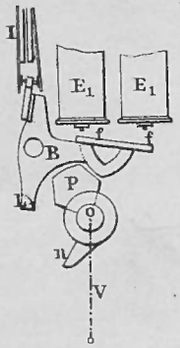


Fig. 6.

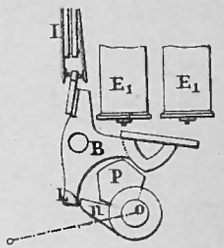


Fig. 7

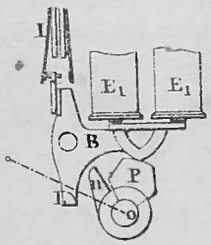


Fig. 8.

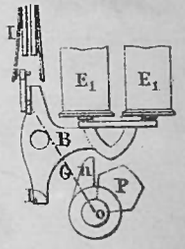


Fig. 9.

Fig. 10.

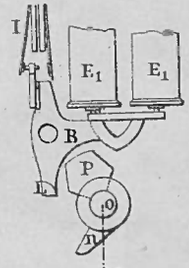


Fig. 11.

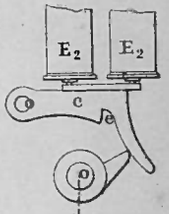


Fig. 12.

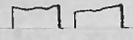


Fig. 13

Fig. 14.

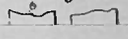


Fig. 1.

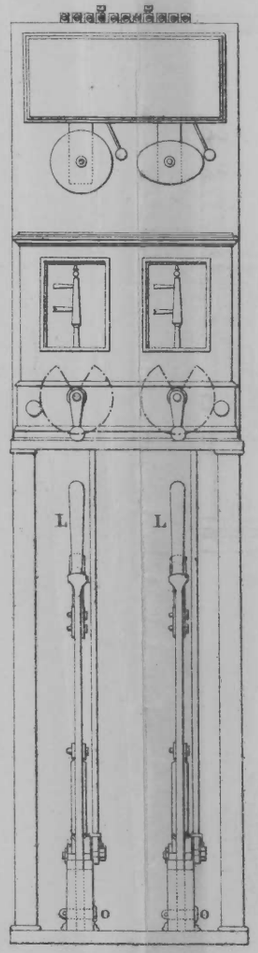


Fig. 2.

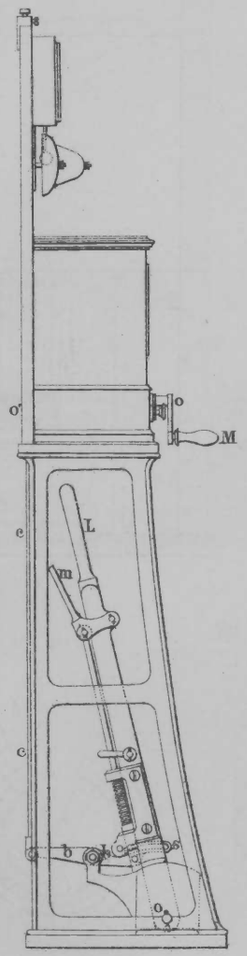


Fig. 3.

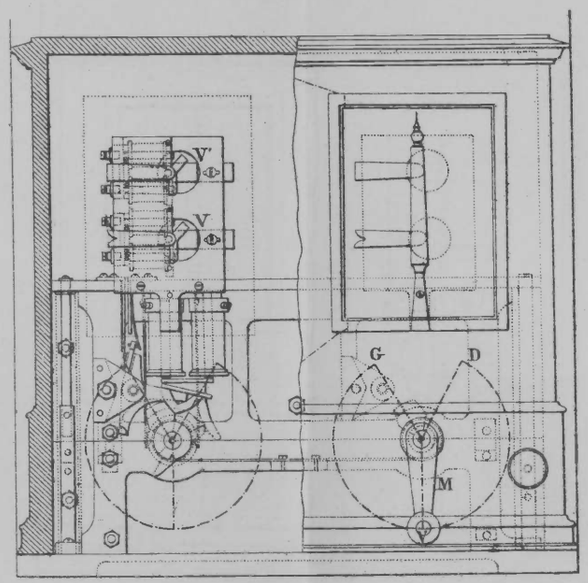


Fig. 4.

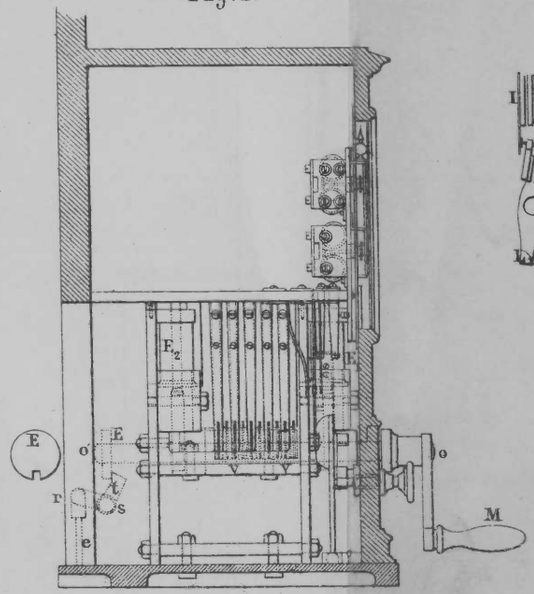


Fig. 5

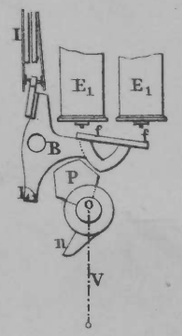


Fig. 6.

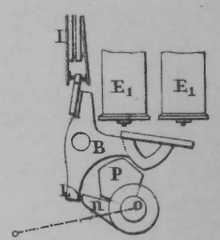


Fig. 7

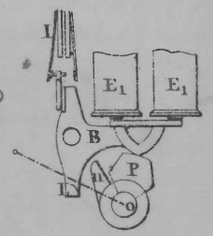


Fig. 8.

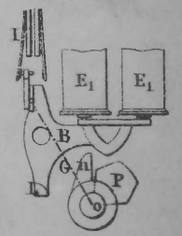


Fig. 15.

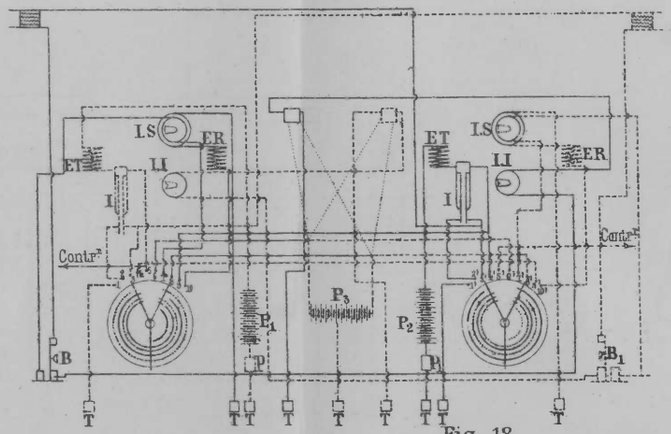


Fig. 16.

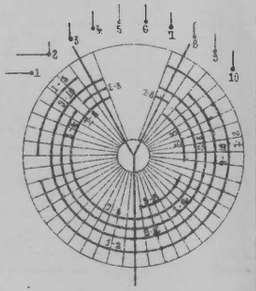


Fig. 9.

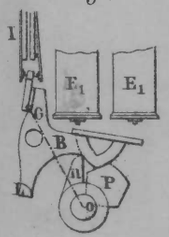


Fig. 10.

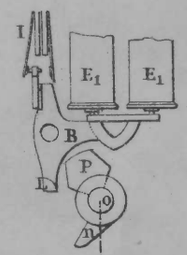


Fig. 11.

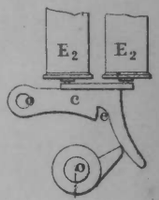


Fig. 12.

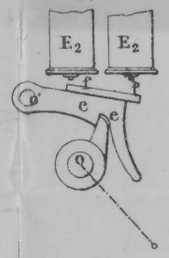


Fig. 13

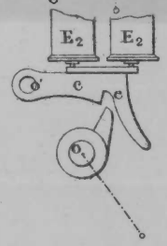


Fig. 14.

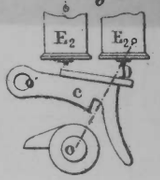


Fig. 17.

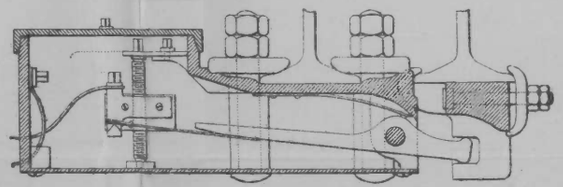
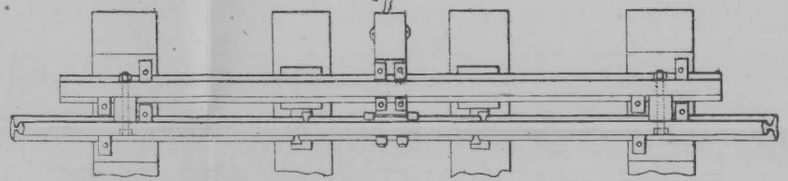
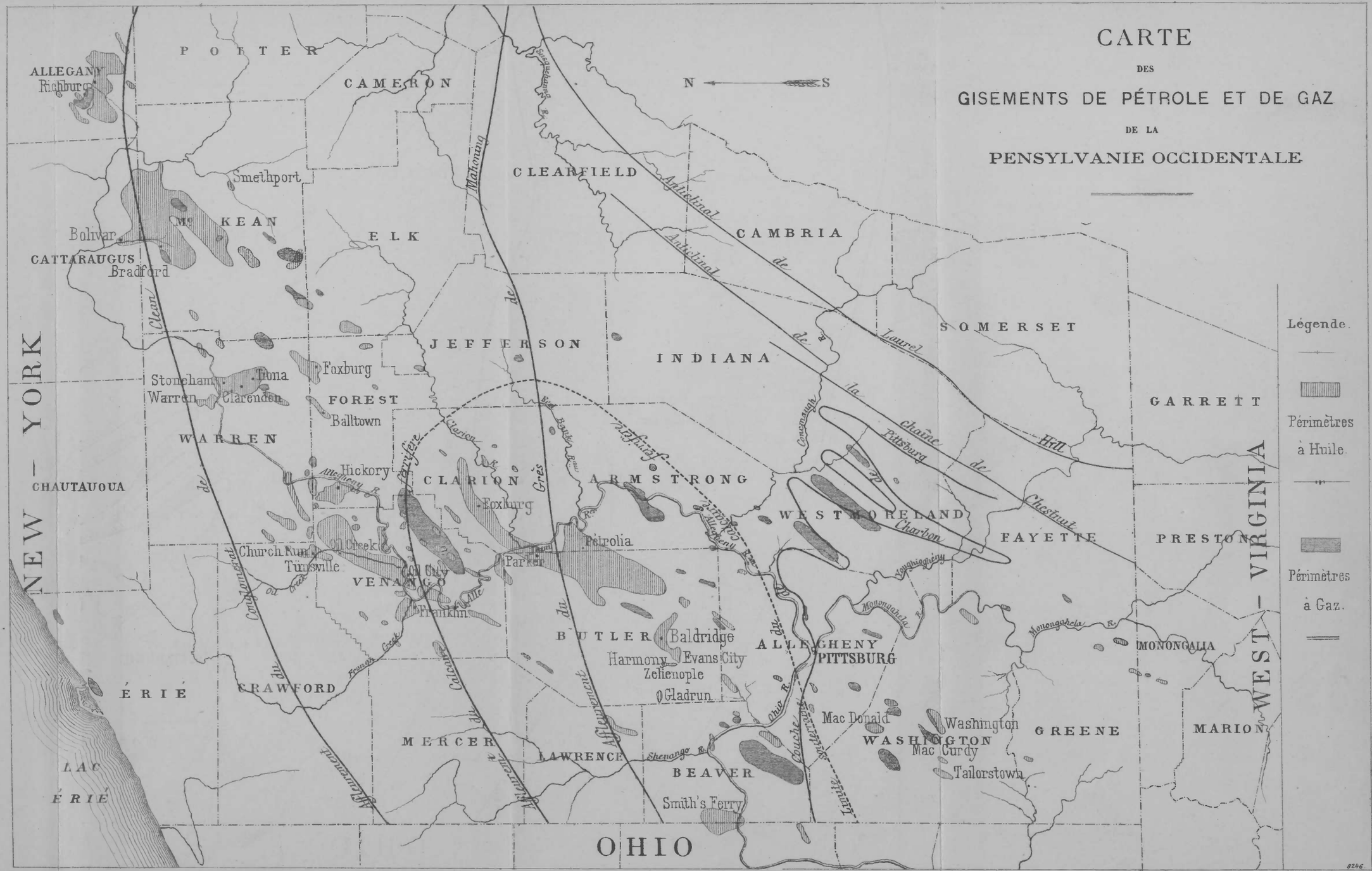


Fig. 18.



Annales des Mines, 9e Série, Tome V, pages 54 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque. Paris.



Annales des Mines, 9e Série, Tome V, pages 67 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig.2. Coupe I Nord Sud parallèle à la Tamina (10 Kil. à l'Ouest) d'après M. Heim

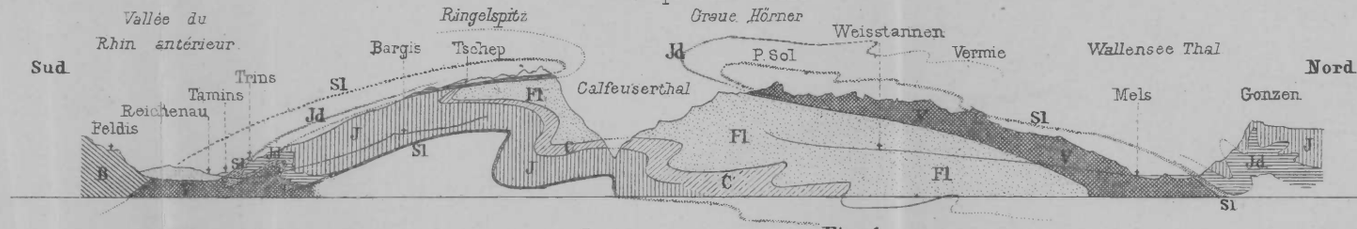
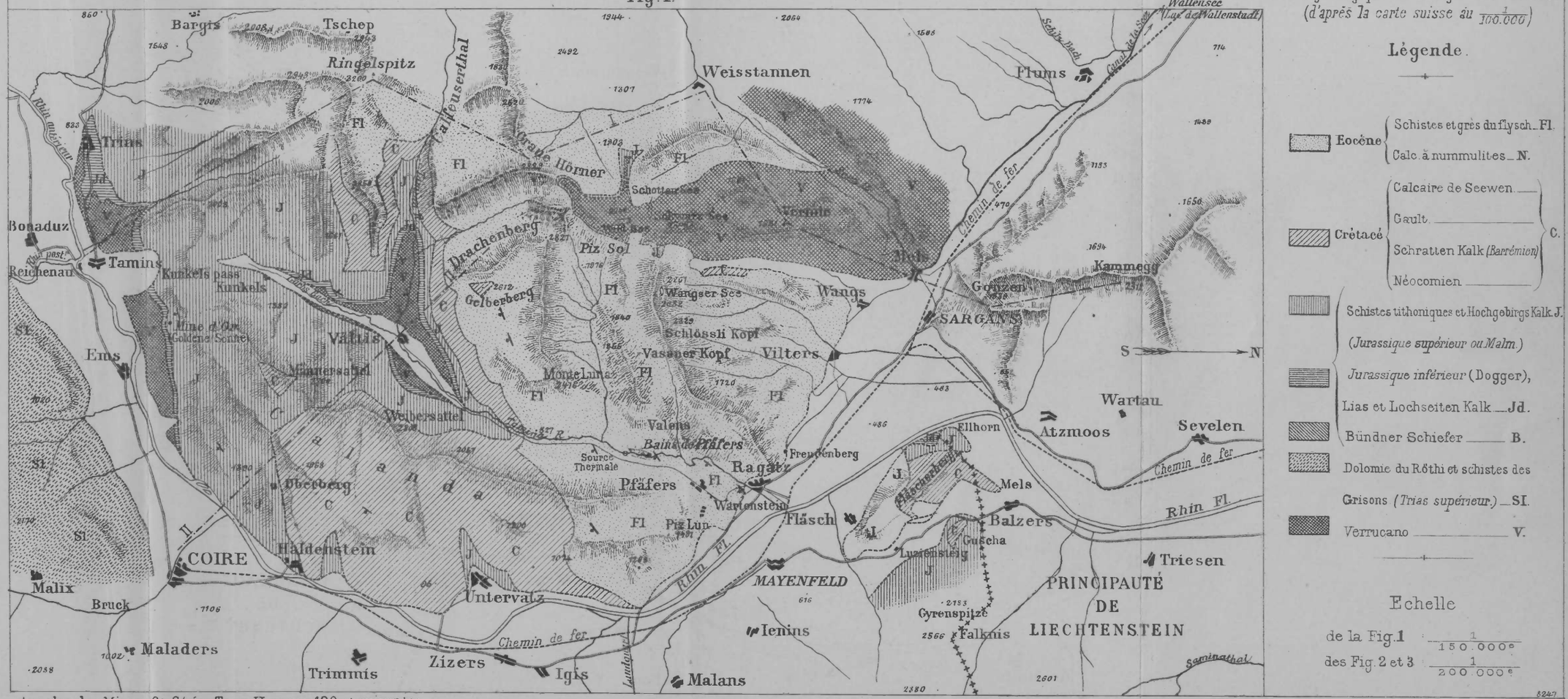


Fig.3. Coupe II Coire-Vättis perpendiculaire au Rhin et à la Tamina d'après M. Heim.

Fig. 1.

Carte géologique de la région de Pfäfers
(d'après la carte suisse au $\frac{1}{100.000}$)



Légende.

- **Eocène** { Schistes et grès du flysch — Fl. ; Calc. à nummulites — N. }
- **Crétacé** { Calcaire de Seewen ; Gault ; Schratten Kalk (*Barrémien*) ; Néocomien } — C.
- Schistes tithoniques et Hochgebirgs Kalk — J. (*Jurassique supérieur ou Malm.*)
- *Jurassique inférieur* (Dogger), Lias et Lochseiten Kalk — Jd.
- Bündner Schiefer — B.
- Dolomie du Röthi et schistes des Grisons (*Trias supérieur.*) — Sl.
- Verrucano — V.

Echelle

de la Fig. 1 $\frac{1}{150.000^{e}}$

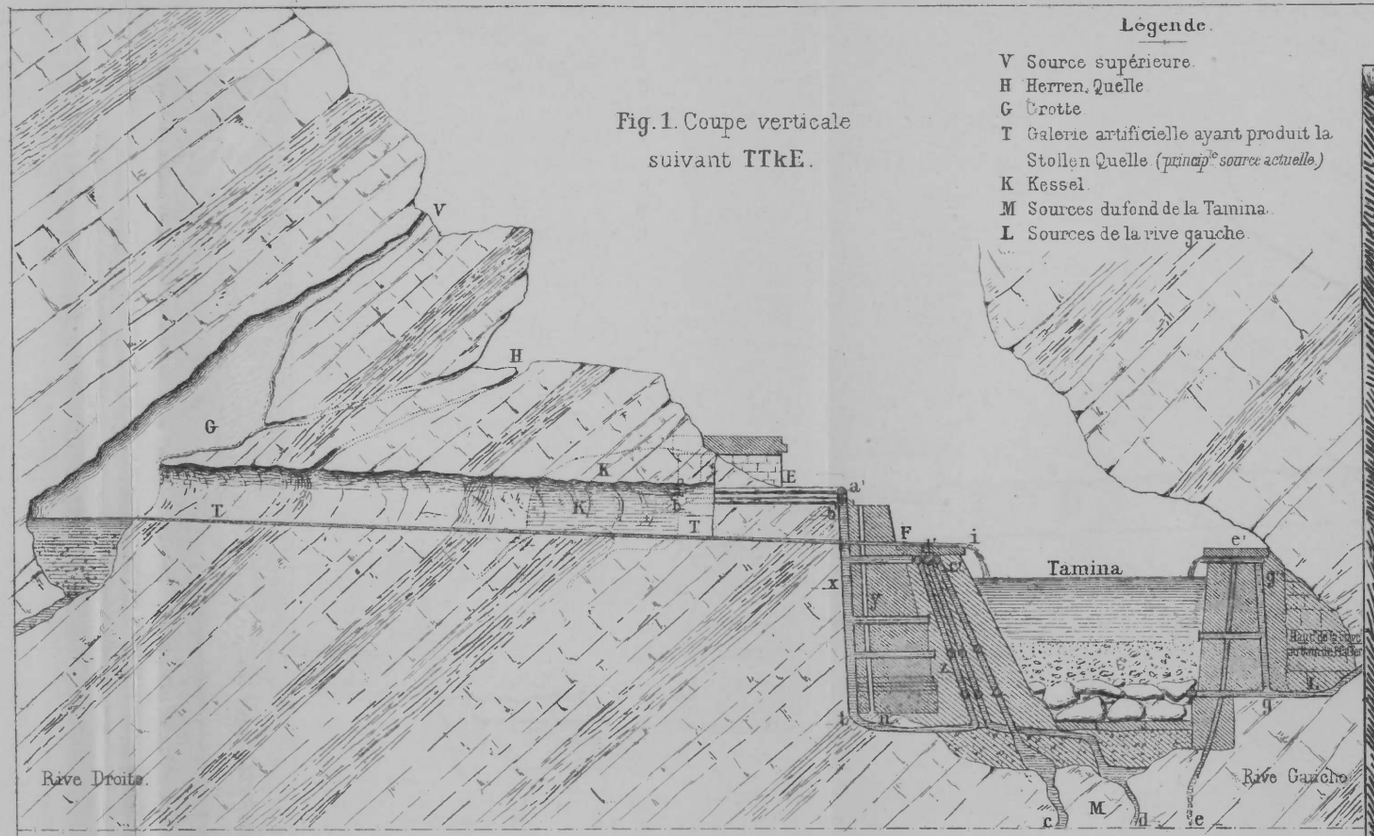
des Fig. 2 et 3 $\frac{1}{200.000^{e}}$

8247

Annales des Mines, 9e Série, Tome V, pages 139 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1. Coupe verticale suivant TTkE.



Légende.

V Source supérieure.
H Herren. Quelle
G Grotte
T Galerie artificielle ayant produit la Stollen Quelle (*princip^e source actuelle.*)
K Kessel
M Sources du fond de la Tamina.
L Sources de la rive gauche.

Fig. 2. Plan à la hauteur de la conduite a a'.

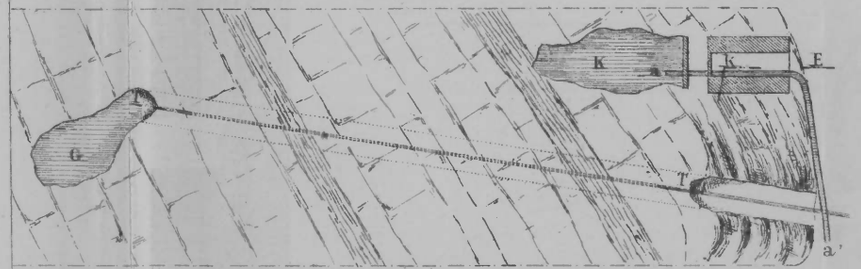
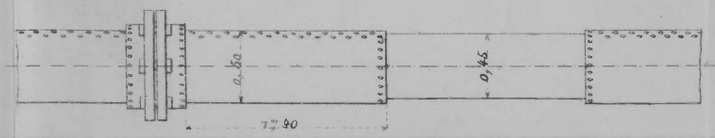
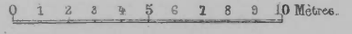


Fig. 4.



Echelle des Fig. 1 et 2.



Echelle { Fig. 4 au 1/50
Fig. 5 au 1/10

Fig. 5.

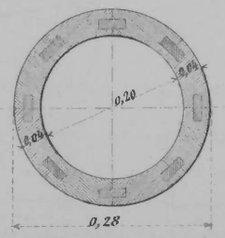
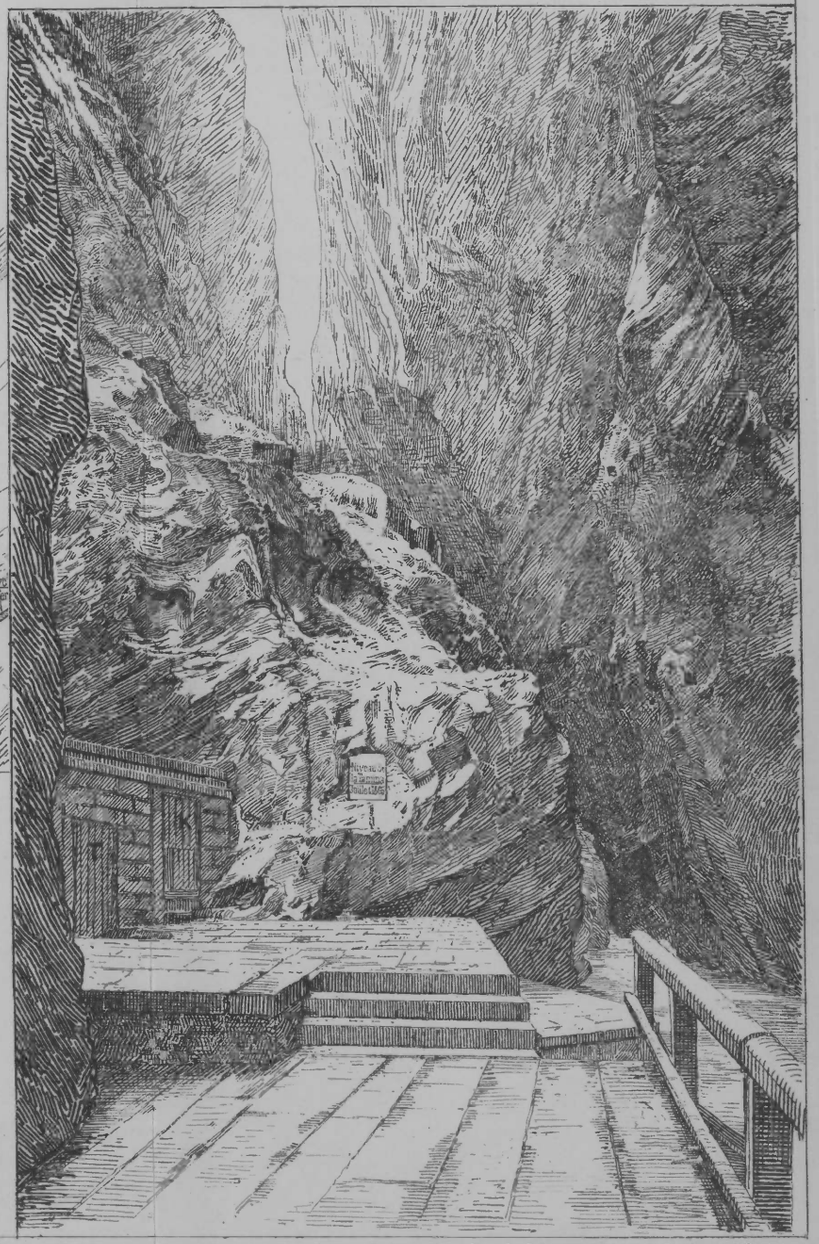


Fig. 3.



Annales des Mines, 9e Série, Tome V, pages 139 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

CHEMIN DE FER DE PARIS-ORLÉANS

BOITES D'ESSIEU D AVANT A DOUBLES PLANS INCLINÉS ET ATTELAGE CONVERGENT DES LOCOMOTIVES
pour faciliter le passage dans les courbes de petit rayon

Fig. 1. Elévation

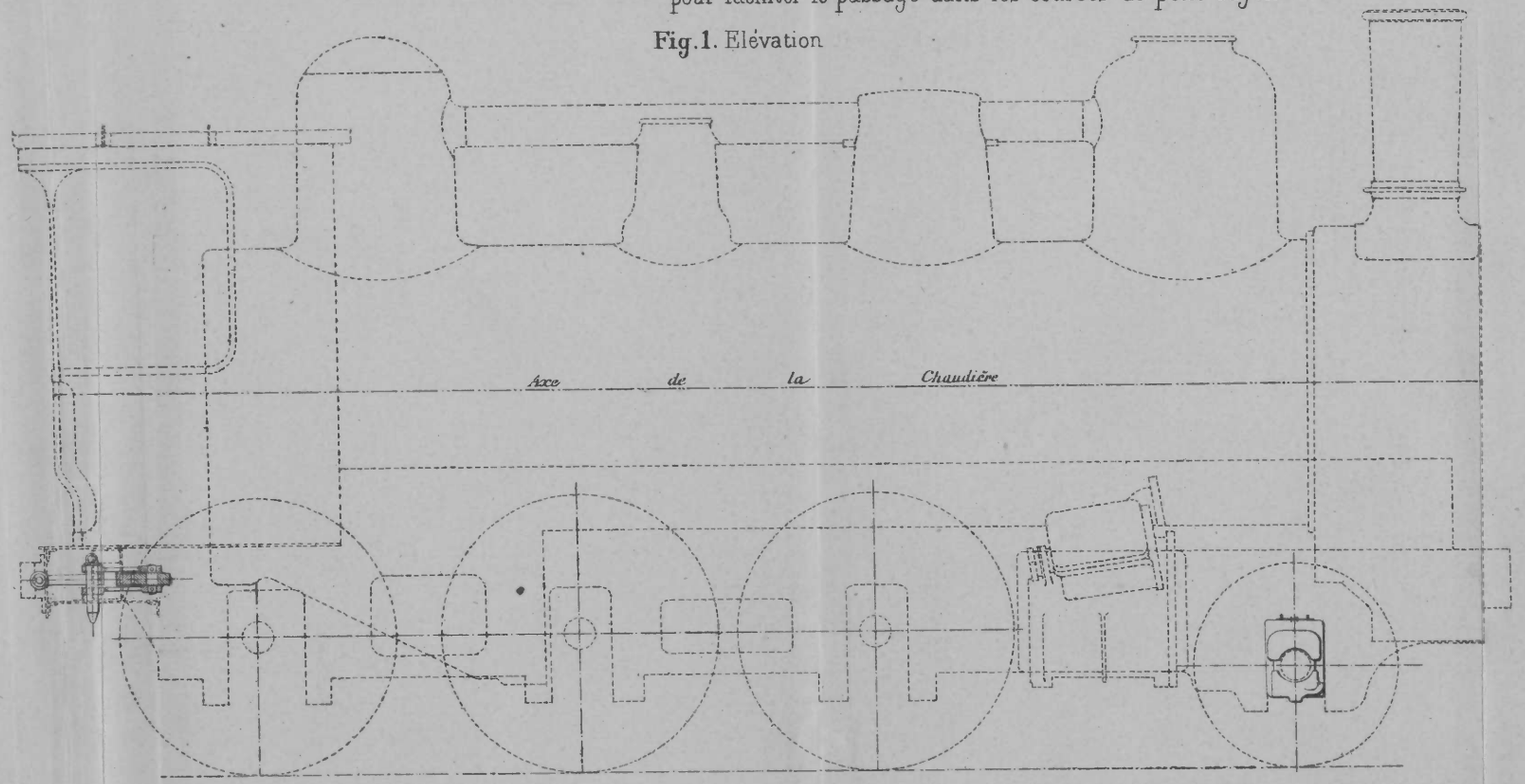


Fig. 2. Plan

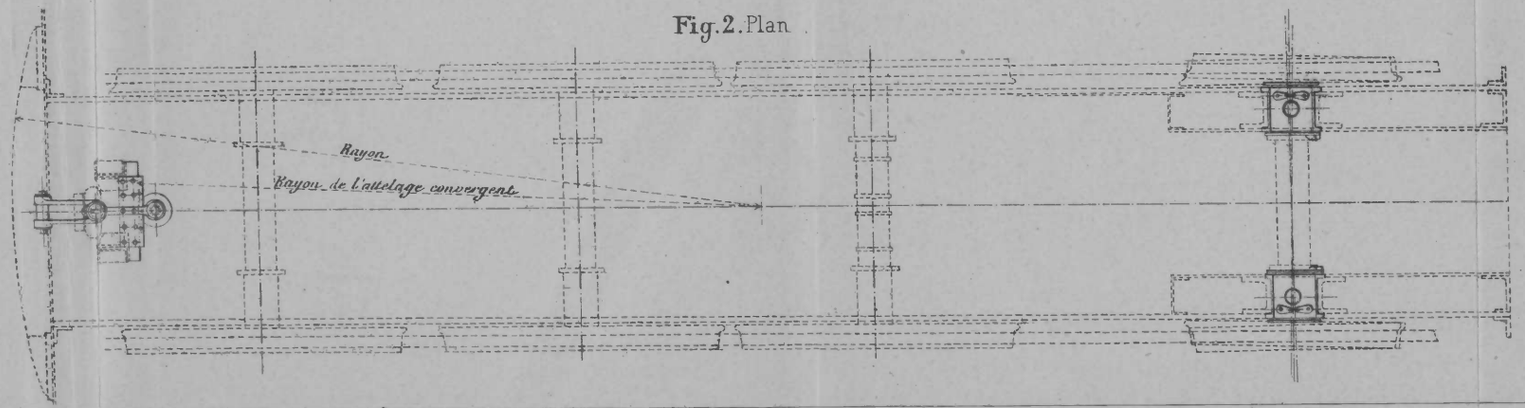


Fig. 3. Coupe **AB** de l'attelage convergent

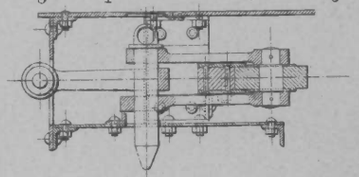
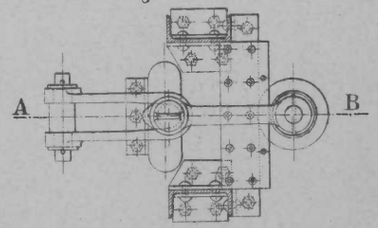


Fig. 4. Plan



Boite à huile à doubles plans inclinés.

Fig. 5 Coupe par **CD**. Vue de face

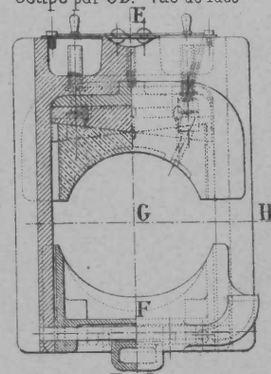


Fig. 6 Coupe par **EF**

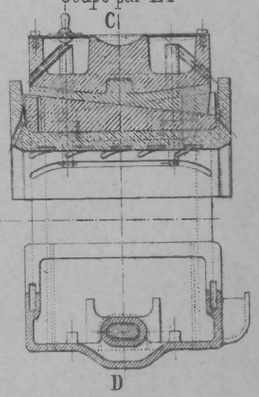
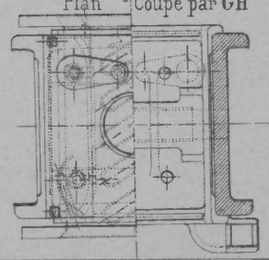


Fig. 7. Plan Coupe par **GH**



Echelles

Fig. 1 et 2 1/40
Fig. 3 et 4 1/20
Fig. 5 à 7 1/10

Annales des Mines, 9e Série, Tome V, pages 172 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque. Paris.

CHEMIN DE FER DE PARIS-ORLÉANS

EXPÉRIENCES SUR L'INFLUENCE RELATIVE DES BOITES A DOUBLES PLANS INCLINES ET DE L'ATTELAGE CONVERGENT SUR L'USURE DES BOUDINS

Appareil à enregistrer les déplacements longitudinaux des roues d'avant

Fig. 1. Elévation

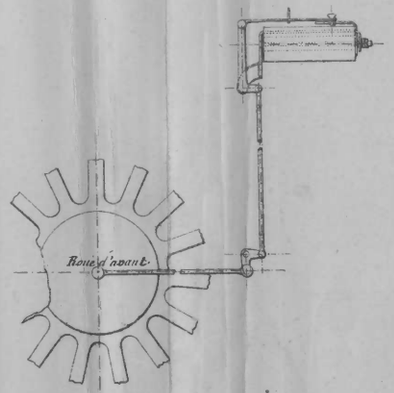


Fig. 2. Vue de face

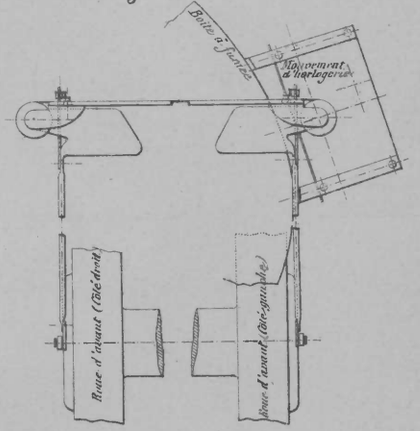


Fig. 3. Vue en plan

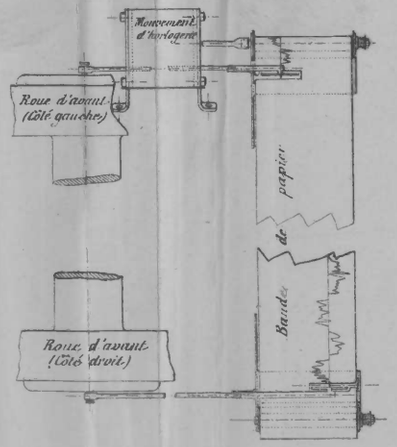
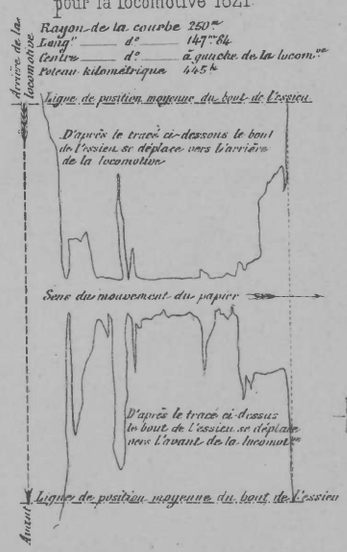


Fig. 4

Diagramme N°31 *(à titre de spécimen)* pour la locomotive 1821



Appareil à enregistrer les déplacements de l'axe de l'attelage d'arrière

Fig. 5. Elévation

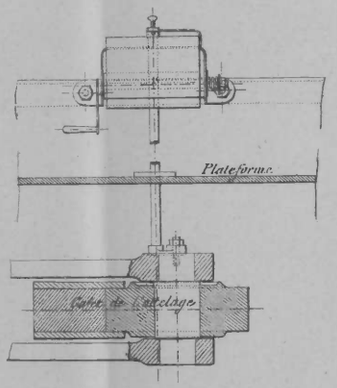


Fig. 6. Vue d'arrière

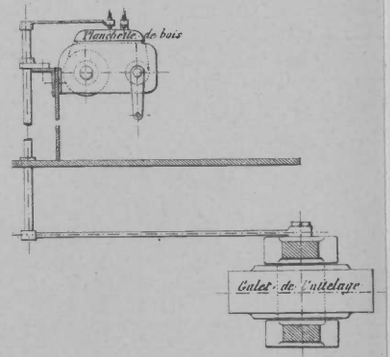
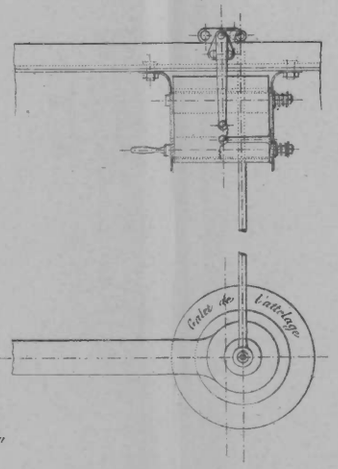


Fig. 7. Vue en plan



Profils des bandages d'avant des locomotives ayant servi pour les expériences

Fig. 8

Côté droit *(Mne 1831)*

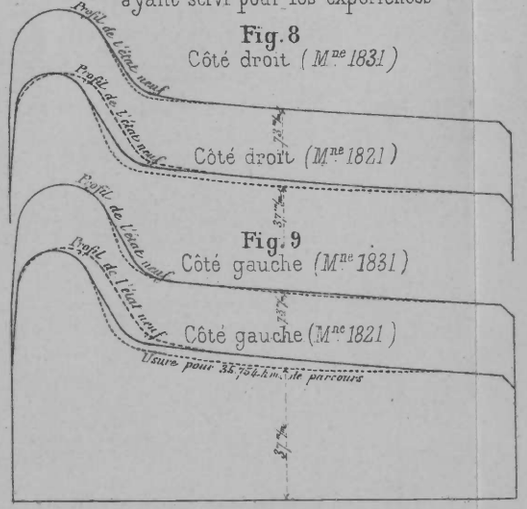
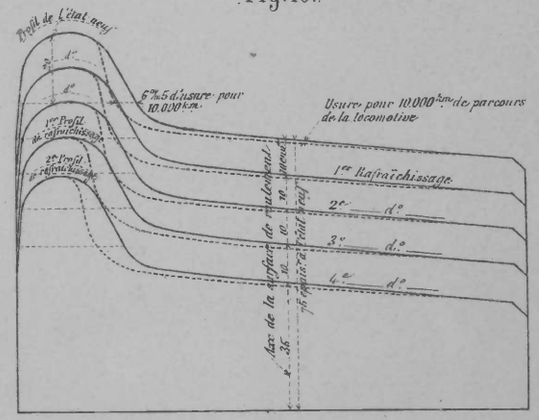


Fig. 9

Côté gauche *(Mne 1831)*

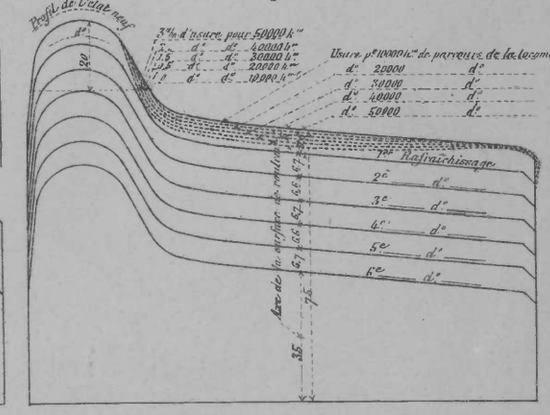
Usure moyenne des bandages d'avant des locomotives munies des plans inclinés simples et de l'attelage ordinaire

Fig. 10.



Usure moyenne des bandages d'avant des locomotives munies des plans inclinés doubles et de l'attelage convergent

Fig. 11.



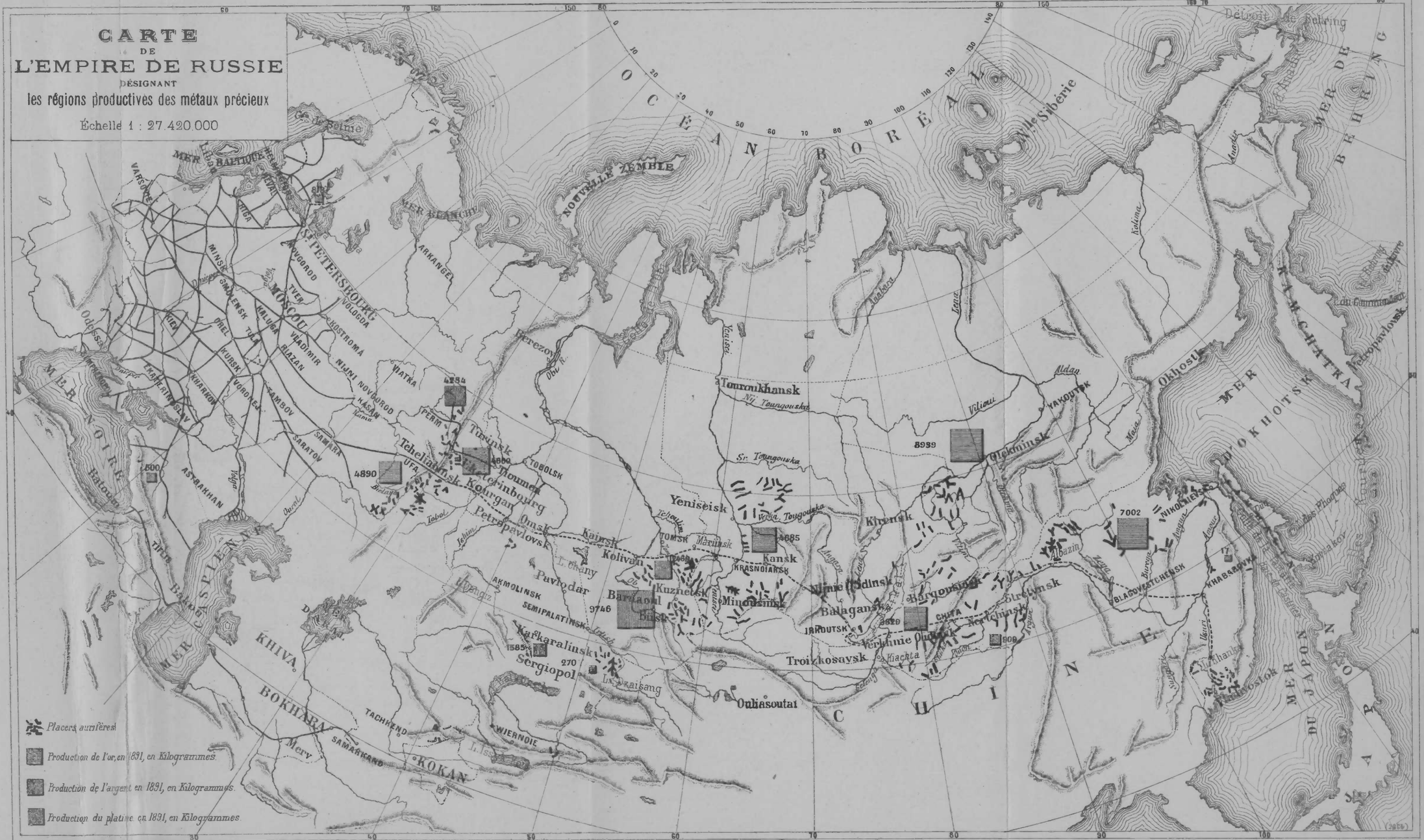
Echelles { Fig. 1 à 3 1/20 ; d° 5 à 7 1/10 ; d° 4, 8, 9, 10 et 11 demi-grandeur

Annales des Mines, 9e Série, Tome V, pages 172 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

CARTE
DE
L'EMPIRE DE RUSSIE
DÉSIGNANT
les régions productives des métaux précieux

Échelle 1 : 27.420.000


OCÉAN BORÉAL
MER BLANCHE
NOUVELLE ZEMBLE
Détroit de Behring
MER DE BEHRING
MER BALTIQUE
MER NOIRE
MER CASPIENNE
MER D'OKHOTSK
MER DU JAPON
CHINE
KHIVA
BOKHARA
KOKAN
KAMTCHATKA
SAKHALINE
ST PETERSHOURG
MOSCOU
Touroukhansk
Yeniseisk
Kansk
Kirensk
Olekminsk
Barnaoul
Kolivan
Kuzhetsk
Minoussinsk
Balaganskaya
Troïzkosavsk
Oulianoutai
Sergiopol
Karkaralinsk
Pavlodar
Petropavlovsk
Omsk
Tioumen
Tcheliabinsk
Kourgan
Turinsk
Nikolaïevsk
Khabarovka
Blagovestchensk
Okhotsk
Yakoutsk
Irkoutsk
Nertchinsk
Verkhnie Oudinsk
Barguzinsk
Bratsk
Tomsk
Krasnoiarsk
Semipalatinsk
Akmolinsk
Orenbourg
Astrakhan
Samara
Saratov
Tambov
Voronej
Kharkov
Kiew
Orel
Kalouga
Toula
Riazan
Vladimir
Nijni Novgorod
Kasan
Perm
Vologda
Kostroma
Tver
Novgorod
Pskov
Smolensk
Minsk
Varsovie
Riga
Reval
Arkangel
Mezen
Petchora
Obi R.
Yenisei
Lena
Amour
Aldan
Vilioui
Maya
Anadyr
Kolyma
Indigirka
Yana
Lena
Ob
Irtych
Tobol
Ichim
Ural
Volga
Kama
Dniepr
Dniestr
Don
Kouban
Terek
Kouma
Manytch
Syr Daria
Amou Daria
Mourgab
Tedjend
Merv
Samarkand
Tachkend
Wiernoie
Issyk Koul
Aral
Balkach
Zaïsan
Tchany
Ichaulia
Marinsk
Angara
Oka
Ingoda
Argoun
Chilka
Albazin
Bureya
Sungari
Kiachta
Selenga
Onon
Khingan
Baïkal
Ouda
Irkout
Lena
Vitim
Olekma
Tougouska
Nij. Tougouska
Sr. Tougouska
Verkhn. Tougouska
Penjina
Gijiga
Anadyr
Kolyma
Indigirka
Yana
Lena
Aldan
Vilioui
Maya
Okhotsk
Ochotsk
Tauïsk

CARTE DE LA RUSSIE D'EUROPE

DÉSIGNANT LES RÉGIONS DE PRODUCTION DE LA FONTE, DU FER ET DE L'ACIER

Régions productives

Production de la fonte, en tonnes, en 1891.

Production du fer et de l'acier en tonnes, en 1891

CARTE DE LA RUSSIE D'EUROPE

DÉSIGNANT LES RÉGIONS DE PRODUCTION DE LA HOUILLE

Régions productives

Production de la houille, en tonnes, en 1891.

CARTE DE LA RUSSIE D'EUROPE

DÉSIGNANT LES RÉGIONS DE PRODUCTION DU SEL

Régions productives

Production du sel en tonnes en 1891

Annales des Mines, 9e Série, Tome V, pages 180 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque. Paris.

Fig. 1.
Carte géologique
de la Nouvelle-Zélande
d'après Mr RAMOND

Fig. 2.
Carte géographique
de la Nouvelle-Zélande

Fig. 3.
Coupe verticale à Blue Spur suivant la ligne de plus grande pente de la faille montrant l'inclinaison des strates de poudingues

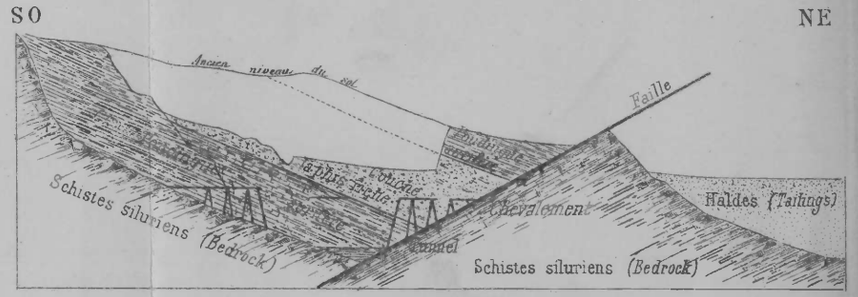


Fig. 4.
Plan des travaux à Blue Spur *(Ravin Gabriel)*

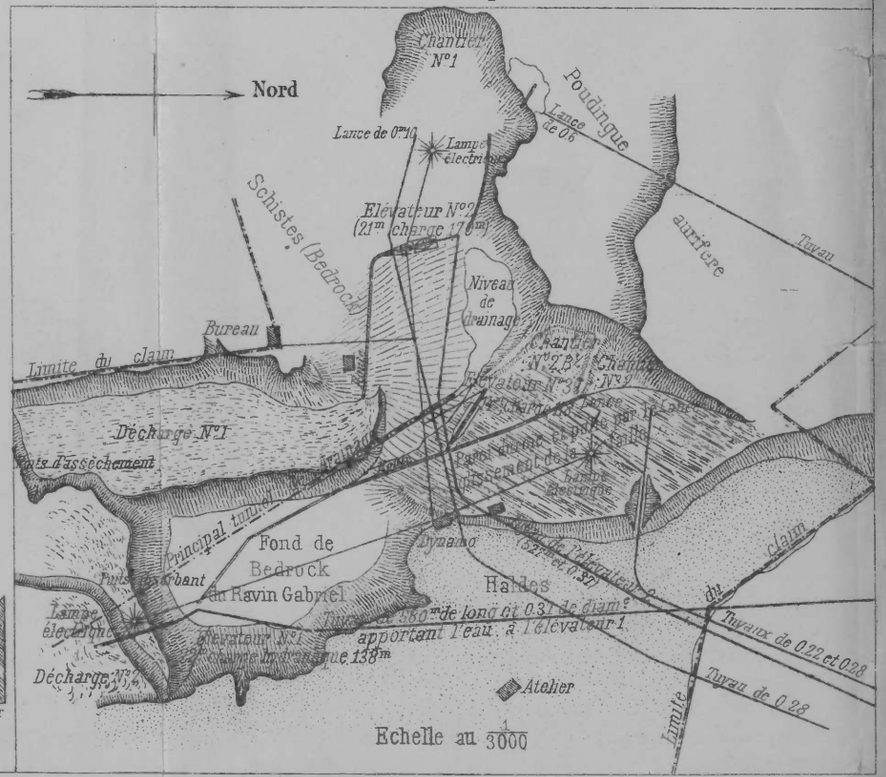


Fig. 5.
Coupe d'un conglomérat aurifère
à Blue Spur

Fig. 6.
Coupe transversale E.O à Kuaotonu

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1 et 2. Coupe du Bassin de Charleroi, entre Charleroi et Landelies, d'après Mr Briart.

Echelle des Fig. 1 et 2 : $\frac{1}{50.000}$

Fig. 1.

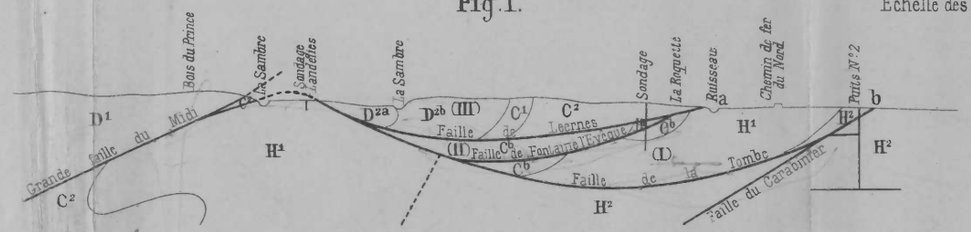


Fig. 2.

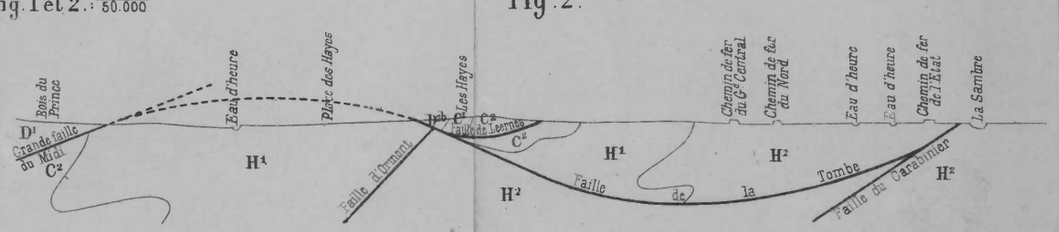


Fig. 3. Coupe hypothétique du Bassin de Valenciennes.

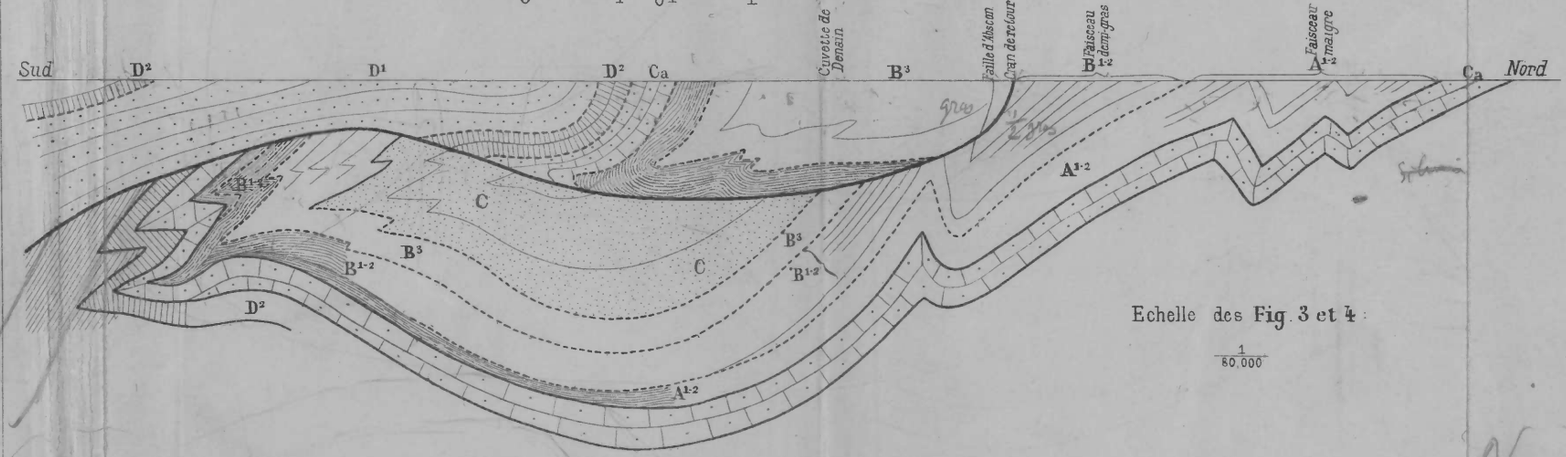
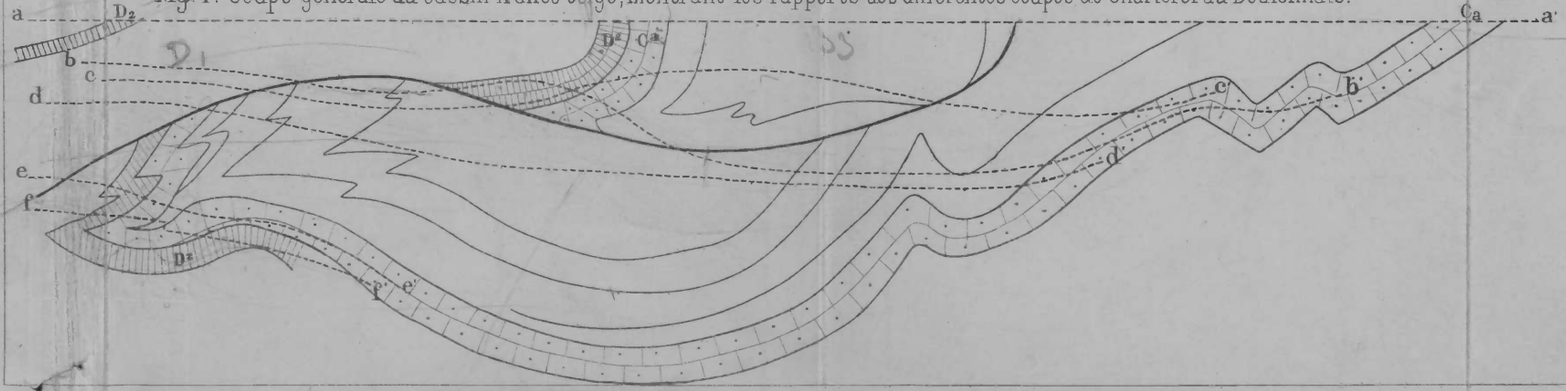


Fig. 4. Coupe générale du bassin franco-belge, montrant les rapports des différentes coupes de Charleroi au Boulonnais.



Echelle des Fig. 3 et 4 : $\frac{1}{50.000}$

Légende des Fig. 1 et 2

D¹ *Dévonien inférieur*
D² *Dévonien supérieur* { D²ᵃ *Fresnien* / D²ᵇ *Famennien*
H¹ *Houiller inférieur* (stérile)
H² *Houiller productif*

Légende des Fig. 3 et 4

Fig. 3.

D¹ *Dévonien inférieur*
D² *Dévonien moyen et supérieur*
Ca *Calcaire carbonifère*
Terrain houiller { A¹·² *Faisceau des houilles maigres* (Vᵗᵉ Condé et Vicoigne) / B¹·² *Faisceau demi-gras* (Nord d'Anzin et l'Escarpelle) / B³ *Faisceau gras* (Denain et Azincourt) / C *Faisceau de Bully-Grenay* (houilles à gaz).

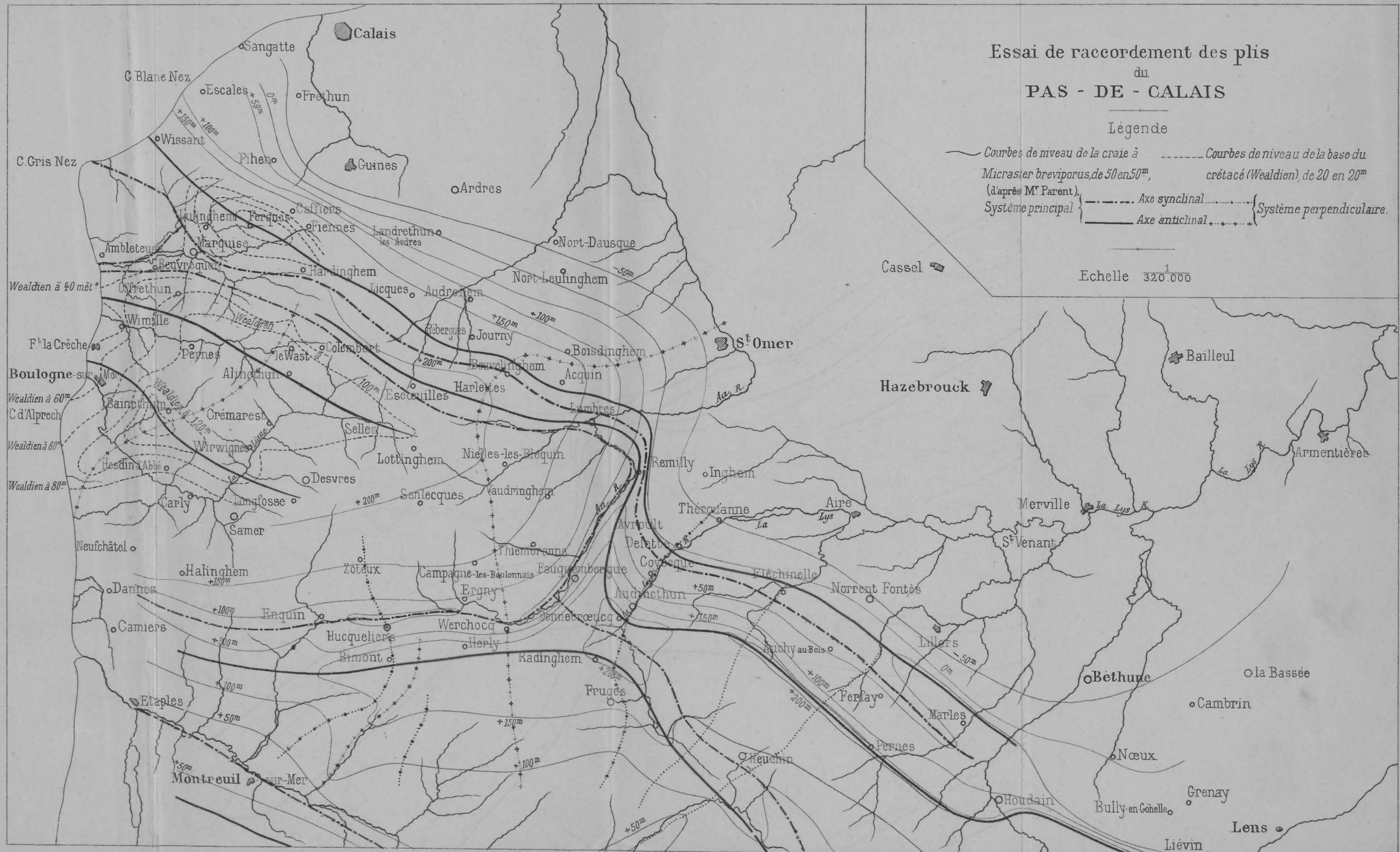
Fig. 4.

Les diverses lignes (a a', b b', c c', etc.,) *indiquent le niveau auquel il faudrait arrêter la coupe générale, pour obtenir la coupe particulière de chaque bassin :*

aa' *Coupe du bassin de Valenciennes* (prise à Denain)
bb' *Coupe du couchant de Mons* (par Dour et Boussu)
cc' *Coupe du bassin de Charleroi* (prise à Landelies)
dd' *Coupe du bassin du Pas-de-Calais* (prise à Lens)
ee' _____ *d°* _____ (prise à Fléchinelle)
ff' *Coupe du Boulonnais*

Annales des Mines. 9e Série. Tome V, pages 569 et suivantes.

Auto-lmp. L. Courtier. 43, rue de Dunkerque. Pa



Annales des Mines. 9e Série. Tome V, pages 569 et suivantes.

Auto-Imp. L. Courtier. 43, rue de Dunkerque. Paris.