

COMMISSION DES MINES

Le Ministre des Travaux Publics a l'honneur de vous adresser ci-joint le rapport de la Commission des Mines pour l'année 1884.

Le rapport est divisé en deux parties : la première contient les conclusions auxquelles la Commission est parvenue sur les divers points qui lui ont été soumis ; la seconde contient les propositions qu'elle a formulées.

Le rapport est accompagné de divers documents, notamment de plans et de coupes de mines, qui ont été déposés au Ministère des Travaux Publics.

ANNALES

DES MINES.

mines

Le rapport est divisé en deux parties : la première contient les conclusions auxquelles la Commission est parvenue sur les divers points qui lui ont été soumis ; la seconde contient les propositions qu'elle a formulées.

Le rapport est accompagné de divers documents, notamment de plans et de coupes de mines, qui ont été déposés au Ministère des Travaux Publics.

Le rapport est divisé en deux parties : la première contient les conclusions auxquelles la Commission est parvenue sur les divers points qui lui ont été soumis ; la seconde contient les propositions qu'elle a formulées.

Le rapport est accompagné de divers documents, notamment de plans et de coupes de mines, qui ont été déposés au Ministère des Travaux Publics.

Le rapport est divisé en deux parties : la première contient les conclusions auxquelles la Commission est parvenue sur les divers points qui lui ont été soumis ; la seconde contient les propositions qu'elle a formulées.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée ainsi qu'il suit :

MM.	MM.
GRUNER, inspecteur général des mines, président.	DUPONT, inspecteur général, inspecteur de l'Ecole des mines.
LAMÉ FLEURY, ingénieur en chef, directeur des mines.	DE CHANCOURTOIS, ingénieur en chef, professeur à l'Ecole des mines.
DE BOUREUILLE, inspecteur général.	DELESSE, d°
FRANÇOIS, d°	BAYLE, d°
DU SOUICH, d°	H.-CLÉRY, ingénieur en chef, secrétaire du conseil général des mines.
DAUBRÉE, inspecteur général, directeur de l'Ecole des mines.	LAN, ingénieur en chef, professeur à l'Ecole des mines.
COUCHE, inspecteur général, professeur à l'Ecole des mines.	HATON DE LA GOUPILLIÈRE, d°
LEFÈBRE DE FOURCY, inspecteur général.	MALLARD, d°
GUILLETOT DE NEVILLE, d°	MOISSENET, d° <i>secrétaire de la commission.</i>
JACQUOT, d°	ZEILLER, ingénieur, <i>secrétaire adjoint.</i>
DESCOTTES, d°	

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, secrétaire de la Commission des ANNALES DES MINES, à Paris.*

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

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

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

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence.

Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 90 à 100 feuilles d'impression et de 20 à 24 planches gravées.

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

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.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XII.

PARIS.

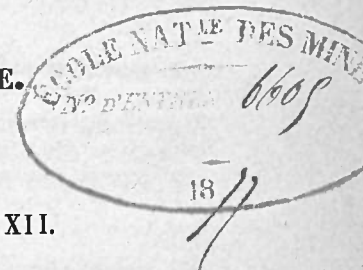
DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES

ET DES TÉLÉGRAPHES,

Quai des Augustins, n° 49

1877



LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE

LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS FRANÇAISES
ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1877, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the FRANKLIN INSTITUTE. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. *Philadelphie.*
4. — Philosophical Transactions of the ROYAL SOCIETY OF LONDON.
5. — The quarterly Journal of the GEOLOGICAL SOCIETY. *Londres.*
6. — Minutes of the Proceedings of the INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. *Londres.*
7. — ROYAL IRISH ACADEMY. *Dublin.*
8. — ÉTABLISSEMENT GÉOGRAPHIQUE DE BRUXELLES, fondé par M. Philippe van der Maelen.
9. — Bibliothèque universelle et Revue suisse; partie scientifique: archives des sciences physiques et naturelles. *Genève.*
10. — Mémoires de la SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE.
11. — SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — KAISERLICH - KÖNIGLICHE GEOLOGISCHE REICHSANSTALT. *Vienna.*
17. — ROYAL GEOLOGICAL SOCIETY OF CORNWALL. *Penzance.*
18. — GEOLOGICAL SURVEY OF GREAT-BRITAIN. *Londres.*
19. — ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH.
20. — The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. *Londres.*
21. — SMITHSONIAN INSTITUTION. *Washington.*
22. — Zeitschrift der DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT. *Berlin.*

23. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie. *Giessen.*
 24. — Zeitschrift des OESTERREICHISCHEN INGENIEUR-UND ARCHITECTEN-VEREINS. *Vienne.*
 25. — The Canadian Journal of Science, Literature and History; CANADIAN INSTITUTE. *Toronto.*
 26. — Zeitschrift des ARCHITEKTEN UND INGENIEUR-VEREINS ZU HANNOVER. *Hanovre.*
 27. — GEOLOGICAL SURVEY OF INDIA. *Calcutta.*
 28. — Berg und Hüttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
 29. — Bulletin de la SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE.
 30. — SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS.
 31. — Il Politecnico. Giornale dell' Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
 32. — Zeitschrift des VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE. *Berlin.*
 33. — SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS. *Paris.*
 34. — OBSERVATOIRE DE PARIS.
 35. — BOSTON SOCIETY OF NATURAL HISTORY. *Boston (États-Unis).*
 36. — Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. *Wiesbaden.*
 37. — Moniteur des intérêts matériels. *Bruzelles.*
 38. — Iron. The Journal of science, metals and manufactures. *Londres.*
 39. — Mittheilungen aus dem Jahrbuche der KÖNIGLICHEN UNGARISCHEN GEOLOGISCHEN ANSTALT. *Pesth.*
 40. — The Journal of the IRON AND STEEL INSTITUTE. *Londres.*
 41. — The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
 42. — NORTH OF ENGLAND INSTITUTE OF MINING AND MECHANICAL ENGINEERS. *Newcastle-upon-Tyne.*
 43. — LITERARY AND PHILOSOPHICAL SOCIETY OF MANCHESTER.
 44. — Berg und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. BERGAKADEMIEN ZU LEOBEN UND PRZIBRAM und der KÖN. UNGAR. BERGAKADEMIE ZU SCHEMNITZ. *Vienne.*
 45. — Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen. *Vienne.*
 46. — Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liège.*
 47. — Transactions of the AMERICAN INSTITUTE OF MINING ENGINEERS. *Easton (Pensylvanie).*
 48. — The American Chemist. *New-York.*
 49. — Stummer's Ingenieur. *Vienne.*
 50. — ACADEMY OF NATURAL SCIENCES OF PHILADELPHIA.
 51. — COMISION DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA. *Madrid.*
 52. — Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1877.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

FLAMMARION. — Les terres du ciel, description astronomique, physique, climatologique, géographique des planètes qui gravitent avec la terre autour du soleil, et de l'état probable de la vie à leur surface; par Camille Flammarion, astronome. 2^e édition. Gr. in-8°, 604 p. (9415)

LAISANT. — Applications mécaniques du calcul des quaternions. Sur un nouveau mode de transformation des courbes et des surfaces; par M. Laisant, ancien élève de l'École polytechnique. In-4°, 133 p. (12095)

2° *Chimie. — Physique.*

AUDOT. — L'Art de faire à peu de frais les feux d'artifice; par M. L. Audot. Ouvrage orné de 86 figures. In-18 jésus, vi-163 p. (8038)

BOISTEL et LEGER. — Trempe du verre et des produits chimiques au moyen de la vapeur; par MM. Bôistel et Leger, ingénieurs des arts et manufactures. In-8°, 23 p. (9120)

BOUGAREL. — De l'amygdaline et d'un principe nouveau trouvé dans les feuilles d'un certain nombre de végétaux; par M. Charles Bougarel, pharmacien de première classe. In-8°, 83 p. (9121)

DOSNE. — Rapport sur les industries chimiques concernant le blanchiment, l'impression, la teinture des fibres textiles, les apprêts, la fabrication des matières colorantes, etc.; par Paul Dosne, ingénieur-chimiste. Notes d'un voyage d'études en Normandie, en Alsace, en Suisse et à Lyon. Gr. in-8°, vi-204 p. (9886)

- GARNAULT et POURIAU. — Les instruments de précision de physique et de navigation, et les appareils météorologiques enregistreurs; par MM. E. Garnault, professeur à l'École navale de Brest, et A. Pouriau, professeur à l'École de Grignon. In-8°, xvi-168 p., 29 fig. et 19 pl. 10 fr. (11495)
- GAVARRET. — Acoustique biologique. Phénomènes physiques de la phonation et de l'audition; par J. Gavarret, professeur de la Faculté de médecine de Paris. Avec 100 fig. dans le texte. In-8°, vii-599 p. 10 fr. (8341)
- GÉLIS. — Le lactate de fer et l'acide lactique normal de l'économie; par A. Gélis, ancien préparateur de chimie au Collège de France. In-18, 287 p. (7241)
- GRIMAUX. — Recherches synthétiques sur la série urique; par Édouard Grimaux. In-4°, 79 p. (7612)
- LATTEUX. — Manuel de technique microscopique, ou Guide pratique et résumé des connaissances indispensables à celui qui commence l'étude du microscope; par le docteur Paul Latteux. Avec fig. dans le texte. In-18, 415 p. (9462)
- LÉCHALAS. — Malebranche et la théorie des couleurs; par Georges Léchalas, ingénieur des ponts et chaussées. In-12, 12 p. (9941)
- LE TUAL. — Étude du télégraphe automatique de sir Ch. Wheatstone; par Albert Le Tual, employé à la station centrale de Paris. Ouvrage publié avec l'autorisation de l'administration des lignes télégraphiques. In-8°, vi-293 p. et atlas. 4 fr. (9946)
- PICOU. — Notice sur l'éclairage industriel par la lumière électrique; par M. R. V. Picou, ingénieur des arts et manufactures. Gr. In-8° 20 p. (12174)

3° Géologie, minéralogie, métallurgie.

- Annales des sciences géologiques, publiées sous la direction de M. Hébert et de M. Alphonse Milne-Edwards. T. VIII. In-8°, 355 p. et 29 pl. 15 fr. (8631)
- BRETON. — Étude stratigraphique du terrain houiller d'Auchy-au-Bois. Théorie sur le prolongement au sud de la zone houillère du Pas-de-Calais, et comparaison des terrains houillers d'Auchy-au-Bois et du Boulonnais; par Ludovic Breton, ingénieur-directeur de la compagnie d'Auchy-au-Bois. Gr. in-8°, 65 p. et 17 pl. (10099)
- COTTEAU, PERON et GAUTHIER. — Échinides fossiles de l'Algérie. Description des espèces déjà recueillies dans ce pays et considérations sur leur position stratigraphique; par MM. Cotteau, Peron

- et Gauthier, 1^{re} et 2^e fascicule. Étages séquanien, téthonique et néocomien. Avec 8 pl. In-8°, 126 p. (11992)
- EUDES-DESLONGCHAMPS. — Le Jura normand, Études paléontologiques des divers niveaux jurassiques de la Normandie, comprenant la description et l'iconographie de tous les fossiles vertébrés et invertébrés qu'ils renferment; par M. Eudes-Deslongchamps; 1^{re} livraison, Monographie IV, feuilles 1 à 5, pl. 1, 2, 4, 5. Monographie VI, feuilles 1 à 4, pl. 1, 3, 4, 8. In-4°, 70 p. et 8 pl. 20 fr. la livraison. (7040)
- FILHOL. — Recherches sur les phosphorites du Quercy. Études des fossiles qu'on y rencontre et spécialement des mammifères; par H. Filhol. In-8°, 565 p. et 56 pl. (7447)
- FONTANNES. — Études stratigraphiques et paléontologiques pour servir à l'histoire de la période tertiaire dans le bassin du Rhône, par F. Fontannes. II. Les terrains tertiaires supérieurs du haut Comtat Venaissin. Bollène, Saint-Paul-Trois-Châteaux, Visau. Gr. in-8°, v-103 p. et 2 pl. (11040)
- LEYMERIE. — Éléments de géologie, comprenant un lexique où se trouvent indiqués les caractères zoologiques des fossiles; par A. Leymerie, 3^e édition, illustrée de 400 vign. In-12, xii-616 p. (12455)

4° Mécanique. — Exploitation.

- BURAT. — Société des houillères de Blanzay. Situation de ses établissements en 1877; par Amédée Burat. In-4°, xiii-154 p. et 20 pl. (11977)
- GAUDRY et ORTOLAN. — Construction, conduite et entretien des machines à vapeur; aide-mémoire du mécanicien-constructeur de machines à vapeur; par MM. Jules Gaudry, ingénieur civil, et A. Ortolan, mécanicien en chef de la flotte. In-8°, xii-423 p. et atlas de 167 pl. 25 fr. (11497)
- HERVÉ MANGON. — Traité de génie rural. III. Travaux, instruments et machines agricoles; par M. Hervé Mangon, membre de l'Institut, professeur à l'École des ponts et chaussées. Ouvrage accompagné de 26 pl. et orné de 193 grav. sur bois. In-8°, xvi-840 p. (9445)
- LEHERLE. — Mémoire sur le passage des bouches à feu en fonte au moyen de la dynamite; par M. Leherle, capitaine d'artillerie de la marine. Avec planches et figures. In-8°, 40 p. et 4 pl. 3 fr. (10805)
- SARRAU. — Formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes; par M. E. Sarrau, ingénieur en chef des poudres et salpêtres. In-8°, 59 p. 2 fr. (7543)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

- BAUM. — Un chemin de fer militaire en Prusse; par Charles Baum, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 14 p. 0',50 (11247)
- COUCHE. — Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer. Ouvrage suivi d'un appendice sur les travaux d'art; par M. Ch. Couche, inspecteur général des mines. T. III. Production et distribution de la vapeur. Moyens de détruire et de modérer la vitesse. Résistance des trains. Puissance et effet utile de la locomotive. Supplément. In-8°, 972 p. et atlas de 21 pl. (9870)
- DALY. — L'architecture privée au XIX^e siècle. 2^e série. Décorations extérieures et intérieures des nouvelles maisons de Paris et des environs; par M. César Daly, architecte du gouvernement. 1^{er} vol. Architecture urbaine. 2^e vol. Architecture suburbaine. Livraisons 36 à 50. In-folio, 57 pl. (11284)
- GOSCHLER. — Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer; par Ch. Goschler, ingénieur. T. III. Service de la locomotion (2^e partie), 1^{re} section. Matériel et transport. 2^e édition. In-8°, 606 p. et atlas de 39 pl. Paris, imp. Hennuyer; lib. J. Baudry, 25 fr. (12053)

6° *Sujets divers.*

- Annuaire des mines et de la métallurgie françaises, paraissant chaque année vers la fin de mai. Industries minérales et métallurgiques, construction mécanique, quincaillerie, etc. 2^e année. 1877. In-8°, 426 p. (7165)
- GRACE-CALVERT. — Traité de la teinture des tissus et de l'impression du calicot, comprenant les derniers perfectionnements adoptés dans la préparation et l'emploi des couleurs d'aniline. Ouvrage illustré de gravures sur bois et de nombreux échantillons d'étoffes teintes et imprimées; par feu le docteur Grace-Calvert. Traduit de l'anglais sur la seconde édition par Auguste Guéront, préparateur au Muséum d'histoire naturelle. 2^e fascicule. In-8°, 209,384 p. L'ouvrage complet, 30 fr. (11446)
- De l'application du phosphore de calcium à l'appareil éclairant des bouées de sauvetage. Résumé des expériences entreprises par le département de la marine. Avec figures et planches. In-8°, 46 p. et 2 pl. 2',50. (11018)

OUVRAGES ANGLAIS.

- BURGH. *Pocket book...* Petit recueil des règles pratiques pour calculer les dimensions des machines et des chaudières à vapeur.
- GARNETT. *Elementary mechanics.* Mécanique élémentaire.
- The superficial geology...* Géologie superficielle de la région des côtes du Lancashire sud-ouest; par C. E. de Rance.
- Parliamentary. Railways...* Accidents de chemins de fer. Rapport général pour 1876.
- — — Rapport sur les systèmes de signaux des chemins de fer.
- JOHNSTON. *Elements of agricultural chemistry...* Éléments de chimie et de géologie agricoles.
- T. THORPE. *A manual...* Manuel de chimie inorganique. Vol. I. Corps non métalliques.
- R. O. THORPE. *Book of mechanics...* Traité de mécanique. 1^{re} partie; statique.
- WHITWELL. *Iron smelter's...* Manuel d'analyses du fondeur en fer.
- BOTTOMLEY. *Electrometers.* Les électromètres.
- MINGHIN. *Treatise on statics.* Traité de statique.
- ANDRE. *Descriptive treatise...* Traité descriptif des machines de mines.
- FANNING. *A practical treatise...* Traité pratique de l'alimentation d'eau.
- REYNOLDS. *Locomotive engine driving.* Conduite des machines locomotives.
- MERRIMAN. *Elements of the method...* Éléments de la méthode des moindres carrés.
- ROSCOE and SCHORLEMMER. *A treatise on chymistry...* Traité de chimie. Vol. I; éléments non métalliques.
- Scepticism in geology...* Le scepticisme en géologie et ses raisons.
- SHAUN. *An elementary treatise...* Traité élémentaire de la chaleur, au point de vue de la vapeur et de la machine à vapeur.
- WORMELL. *Thermodynamics.* Thermodynamique.
- Government publications. Mineral statistics...* Statistique de l'industrie minérale pour l'année 1876.
- GRAHAM. *Elementary treatise...* Traité élémentaire de la vapeur et de l'emploi de l'indicateur.

- KNIGHT. *The practical dictionary...* Dictionnaire pratique de mécanique.
- Mathematics...* Mathématiques. 1^{re} année.
- LANGDON. *The application of electricity...* L'application de l'électricité sur les chemins de fer.
- GEE. *The silversmith's handbook...* Manuel de l'ouvrier en argent.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

- BLANCHARD and WEEKS. *The law of mines...* La loi sur les mines, les minerais et l'exploitation par l'eau. San Francisco.
- DANA. *A text-book...* Traité de minéralogie. New-York.
- ELDERHORST. *Manual of qualitative...* Manuel d'analyse qualitative au chalumeau, et détermination des minéraux. Philadelphie.
- MILLER. *The American palæozoic fossils.* Les fossiles paléozoïques d'Amérique. Cincinnati.
- BARTLETT. *Minerals of New England.* Minéraux de la Nouvelle-Angleterre. Portland.
- GOODYEAR. *The coal mines...* Les mines de charbon de la côte occidentale des États-Unis. San Francisco.
- SNIVELY. *Tables for systematic...* Tables pour l'analyse chimique qualitative systématique. Nashville.
- FORNEY. *Catechism of the locomotive...* Catéchisme de la locomotive. New-York.

OUVRAGES ALLEMANDS.

- Abhandlungen zur Geschichte...* Mémoires pour servir à l'histoire des mathématiques. 1^{er} fascicule. Leipzig.
- BECKERHINN. *Kurzes Handbuch...* Petit manuel de chimie théorique. Vienne.
- *Kurzes Handbuch...* Petit manuel de technologie mécanique. Vienne.
- BOSIZIO. *Die Geologie und die Sündfluth.* La géologie et le déluge. Mayence.
- BURMEISTER. *Die fossilen Pferde...* Les chevaux fossiles de la formation des Pampas. Buenos-Ayres.

- MARTINI und CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet...* Collection systématique de coquilles. Publié et complété par H. E. Küster, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker et E. Römer; continué après sa mort par W. Kobelt et H.C. Weinkauff. Livraisons 257 à 263. Nuremberg.
- OCHSENIUS. *Die Bildung der Steinsatzlager...* La formation des gîtes de sel gemme et des sels de leurs eaux mères, avec considérations spéciales sur les couches de Douglashall dans le bassin d'Engeln. Halle.
- ROSCOE und SCHORLEMMER. *Ausführliches Lehrbuch...* Traité complet de chimie. 1^{er} vol. Corps non métalliques. Brunswick.
- ABT. *Die drei Rigibahnen...* Les trois chemins de fer du Rigi et le système à crémaillère. Zürich.
- KOPPE. *Die Aneroid-Barometer...* Les baromètres anéroïdes de Jacob Goldschmid et la mesure barométrique des hauteurs. Zürich.
- LUDWIG. *Fossile Crocodiliden...* Crocodiliens fossiles de la formation tertiaire du bassin de Mayence. Cassel.
- MEYER. *Die kinetische Theorie...* La théorie cinétique des gaz. Breslau.
- NEHLS. *Ueber graphische Integration...* Sur l'intégration graphique et son application à la statique graphique. Hanovre.
- NEUMEYER. *Hülfstafeln...* Tables pour la mesure barométrique des hauteurs. Munich.
- OTT. *Elemente der Mechanik...* Éléments de mécanique. Zürich.
- VOGEL. *Practische Spectralanalyse...* Analyse spectrale pratique des corps terrestres. Nördlingen.
- CLAUSS. *Ueber die Anlage, Ausrüstung...* Sur la construction, l'établissement et l'exploitation des lignes secondaires à section normale. Brunswick.
- HEUSINGER v. WALDEGG. *Musterconstructionen...* Types de constructions pour l'établissement des chemins de fer. 1^{er} vol. 2^e livraison. 2^e moitié. Hanovre.
- *Musterconstructionen...* Types de constructions pour l'exploitation des chemins de fer. 1^{er} vol. 2^e livraison, 2^e moitié. Hanovre.
- LORENZ. *Tunnelbau...* Percement des tunnels avec l'emploi des perforatrices mécaniques. Vienne.
- Neues Handwörterbuch der Chemie...* Nouveau dictionnaire de chimie; composé et rédigé par H. v. Fehling, avec le concours de Bunsen, Fittig, Fresenius, etc. 23^e livraison. 2^e vol. Brunswick.

- KLEKLER. *Die Elemente...* Éléments de géométrie descriptive. Leipzig.
- NEUMANN. *Untersuchungen...* Recherches sur le potentiel logarithmique et de Newton. Leipzig.
- REIS. *Neue electrische Maschinen...* Les nouvelles machines électriques, et particulièrement les machines magnétiques et leurs applications. Leipzig.
- Verhandlungen...* Bulletins de la commission permanente pour la mesure du degré en Europe, réunie à Bruxelles du 5 au 10 octobre 1876. Rédigés par les secrétaires C. Bruns et A. Hirsch. Berlin.
- ENGELHARD UND CHLUPP. *Lehrbuch...* Traité du service des transports par chemins de fer. Livraisons 15-17. Vienne.
- GRASNOF. *Theoretische Maschinenlehre...* Étude théorique des machines. 2^e vol. 1^{re} livraison. Leipzig.
- GROTHE. *Die Industrie Amerika's...* L'industrie de l'Amérique (États-Unis); son histoire, son développement et sa situation. Berlin.
- V. KAVEN. *Vorträge über Eisenbahnbau...* Leçons sur la construction des chemins de fer, professées au Polytechnikum à Aix-la-Chapelle. Aix-la-Chapelle.
- V. REICHE. *Gesetze der Turbinen-Baues...* Lois de la construction des turbines. Leipzig.
- ZETSCHKE. *Handbuch der elektrischen...* Manuel de télégraphie électrique. 1^{er} vol., 3^e livraison. 2^e vol., 2^e livraison. Berlin.
- BECKER UND MILASCHWITSCH. *Die Korallen...* Les coraux des côtes de Nattheim (extr. des *Palaontographica*). Cassel.
- GOLDENBERG. *Fauna Sarawontana fossilis...* Les animaux fossiles de la formation carbonifère de Sarrebruck. 2^e fascicule. Sarrebruck.
- LAGORIO. *Microscopische Analyse...* Analyse microscopique des roches de la Baltique, côte orientale. Dorpat.
- LANG. *Grundriss...* Bases de la connaissance des roches. Leipzig.
- MANTEL. Traité de trigonométrie analytique. Arnheim.
- MIERZINSKI. *Die Desinfectionsmittel...* Les procédés de désinfection. Berlin.
- Handbuch der Ingenieurwissenschaften...* Manuel des connaissances de l'ingénieur, pour les ingénieurs des chemins de fer, des routes et des eaux, par Heusinger v. Waldegg, Franzius et Sonne. 1^{er} vol., 1^{re} moitié, Leipzig.
- Handbuch für spezielle...* Manuel technique spécial des chemins

- de fer, publié par Heusinger v. Waldegg, 5^e vol., 1^{re} moitié. Leipzig.
- Handbuch der chemischen...* Manuel de technologie chimique, par Bolley; continué, après la mort de l'auteur, par Birnbaum. 7^e vol. Métallurgie, 5^e livraison. Brunswick.
- MEISSNER. *Die Hydraulik...* L'hydraulique et les moteurs hydrauliques. 1^{er} vol. Fascicules 2 à 7. Iéna.
- OERTLING. *Ueber Compound-Maschinen...* Sur les machines compound. Kiel.
- PICK. *Die Alkalien.* Les alcalis. Vienne.
- ROHFF. *Handbuch der praktischen...* Manuel du service pratique des chemins de fer. Livraisons 3-15. Stuttgart.
- Abhandlungen...* Mémoires de l'Académie royale des sciences de Berlin. Année 1876. Berlin.
- BARTL. *Einleitung in die Theorie...* Introduction à la théorie des déterminants. Prague.
- V. DRASCHE. *Die Insel Réunion...* L'île de la Réunion dans l'océan Indien. Étude géologique et pétrographique. Vienne.
- KOLBE. *Kurzes Lehrbuch...* Petit traité de chimie inorganique. 2^e moitié, 1^{re} livraison. Brunswick.
- REYER. *Beitrag zur Physik...* Contribution à la physique des éruptions et des roches éruptives. Vienne.
- MATZKA. *Grundzüge...* Principes de l'établissement systématique des déterminants au moyen de la résolution des groupes d'équations linéaires générales. Prague.
- SCHIFF. *Einführung...* Introduction à l'étude de la chimie. Berlin.
- V. KERPELY. *Ungarn's Eisensteine...* Minerais de fer et produits des usines à fer de Hongrie. Vienne.
- LÄUNHARDT. *Die Betriebskosten...* Les dépenses d'exploitation des chemins de fer dans leur relation avec les conditions de pente et de courbure de la voie. Leipzig.
- LEDEBUR. *Die Verarbeitung...* Le travail des métaux par voie mécanique. 2^e livraison. Brunswick.
- KOBELT. *Illustrirtes Conchylienbuch...* Conchyliologie illustrée. 2^e livraison. Nuremberg.
- LIPSCHITZ. *Lehrbuch...* Traité d'analyse. 1^{er} volume. Bonn.
- MENSCHUTKIN. *Analytische Chemie...* Chimie analytique pour les travaux de laboratoire. Leipzig.
- PIVANY. *Entwicklungsgeschichte...* Histoire du développement du monde, de la terre et des organismes. Plauen.
- RAU. *Die Grundlage...* Bases de la chimie moderne. Brunswick.

- ROSEBUSCH. *Mikroskopische Physiographie...* Physiographie microscopique des minéraux et des roches. 2^e volume. Stuttgart.
- VACEK. *Über Oesterreichische Mastodonten...* Sur les mastodontes de l'Autriche et leur relation avec les espèces de mastodontes de l'Europe. Vienne.
- ABBASS. *Handbuch...* Manuel de la fabrication de tous les objets en métal. 2^e partie. Weimar.
- DORN. *Der Liasschiefer...* Le schiste liasique et son importance pour la fabrication du ciment, l'extraction de l'huile minérale, etc. Tubingue.
- DÜRRE. *Allgemeine Hüttenkunde.* Métallurgie générale. Leipzig.
- SCHAAR. *Die Steinkohlengasbereitung.* La préparation du gaz de houille. Leipzig.

OUVRAGES ITALIENS.

- ALBEGGIANI. *Geometria dello spazio...* Géométrie de l'espace en coordonnées tétraédriques. 1^{re} partie. Palerme.
- ALFONSO. *Trattato d'idraulica...* Traité d'hydraulique agricole. Palerme.
- Atti dell' Associazione...* Actes de l'association des ingénieurs et architectes résidant en Toscane. 2^e publication. Pise.
- BOMBICCI. *Lettura sull' origine...* Lecture sur l'origine des montagnes, faite au club alpin. Bologne.
- CRESTI. *Analisi chimica...* Analyse chimique qualitative : procédé pour la recherche des acides inorganiques les plus importants. Pavie.
- DOELTER. *Carta geologica...* Carte géologique des îles Ponza, Palmarola et Zannone, à l'échelle de 1 : 20.000. Rome.
- GILL. *Lezioni elementari...* Leçons élémentaires sur les machines à vapeur. 2^{me} éd., fascicule III. Palerme.
- GIORDANO. *Cenni sul lavoro...* Renseignements sur les travaux de la carte géologique d'Italie. Année 1876. Rome.
- Lezioni di meccanica...* Leçons de mécanique appliquée, par les élèves de l'École d'application de l'artillerie et du génie. Turin.
- Memorie per servire...* Mémoires pour servir à la description de la carte géologique d'Italie; publication du comité royal géologique. Volume III, partie I : Le groupe volcanique des îles Ponces, monographie de C. Doelter. — Géologie du Monte Pisano, de C. de Stefani. Rome.

- OTTONI. *Regolatore della tensione...* Régulateur de la tension du courant électrique, appliqué à la pile Ciniselli. Padoue.
- PROVENZALI. *Trattato elementare...* Traité élémentaire de chimie moderne. Vol. I. Chimie générale; métalloïdes, métaux. Rome.
- RICCARDI. *Biblioteca matematica...* Bibliothèque mathématique italienne depuis l'origine de l'imprimerie jusqu'aux premières années du XIX^e siècle. Vol. II, fascicule 4. Modène.
- RONZONI. *Su d'una trasformazione...* Sur une transformation des équations différentielles générales du mouvement lumineux de l'éther homogène, et sur l'intégrale générale de l'onde lumineuse. Padoue.
- Annali del Ministero...* Annales du Ministère de l'agriculture, de l'industrie et du commerce. Année 1876, second semestre; et année 1877, premier semestre. Statistique. Rome.
- CHIMINELLI. *Recoaro colle sue sorgenti...* Recoaro et ses sources minérales. Bassano.
- D'OIDIO. *Ricerche sui sistemi...* Recherches sur les systèmes indéterminés d'équations linéaires. Turin.
- *Addizioni alla nota...* Additions à la note sur les déterminants et les indéterminés. Turin.
- GIULIO. *Notizie intorno alle sorgenti...* Notice sur les sources d'eau ferrugineuse de la vallée de l'Inferno en Toscane, près Levane. Analyses, par le chevalier A. Tarquini Tozzetti. Florence.
- Repertorio delle miniere...* Répertoire des mines et des concessions et permissions de mines en vigueur au 1^{er} janvier 1860, avec addition de celles qui ont été accordées depuis le 1^{er} janvier 1875. Série 2, vol. III. Rome.
- BELLARDI. *I molluschi...* Description des mollusques des terrains tertiaires du Piémont et de la Ligurie. 2^e partie. Gastéropodes (Pleurotomides). Turin.
- *Descrizione di un nuovo genere...* Description d'un nouveau genre de la famille des Bullides fossiles du terrain pliocène inférieur du Piémont et de la Ligurie. Pise.
- CAROTTI. *Le miniere di Poggio alto.* Les mines de Poggio alto. Florence.
- CAPELLINI. *Della balena di Taranto...* De la baleine de Tarente comparée avec celles de la Nouvelle-Zélande et avec les espèces fossiles de la Belgique et de la Toscane. Bologne.
- CURIONI. *Geologia.* Géologie. Parties I et II. Milan.
- MAGANZINI. *Ministero...* Ministère des travaux publics. Sur les travaux hydrauliques des Pays-Bas; rapport de mission. Rome.

- NAZANI. *Formole empiriche...* Formules empiriques pour l'hydraulique expérimentale. Palerme.
- BARBERA. *Nuovo metodo...* Nouvelle méthode des maxima et minima des fonctions primitives et des intégrales. Bologne.
- Memorie dell' Accademia...* Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de Bologne. Série II; tome VII, fascicule 3; tome VIII. Bologne.
- Rendiconto delle sessioni...* Compte rendu des séances de l'Académie des sciences de l'Institut de Bologne. Année 1876-1877. Bologne.
- STOPPANI E NEGRI. *Geologia d'Italia.* Géologie de l'Italie. 2^e partie (ère néozoïque). Milan.
- CORSA. *Sulla composizione...* Sur la composition de la syénite de Biellese. Turin.
- D'ACHIARDI. *Miniere di mercurio...* Mines de mercure de Toscane et considérations générales sur leur formation. Pise.
- PALAGI. *Elementi di chimica...* Éléments de chimie inorganique d'après les théories modernes. Milan.
- BASSO. *Fenomeni di magnetismo...* Phénomènes de magnétisme observés dans le radiomètre. Turin.
- BRUGNONE. *Due specie fossili...* Deux espèces fossiles nouvelles d'Altavilla (extr. du Bulletin de la Société malacologique d'Italie). Pise.
- CERESINI. *Sulla natura dell' acque...* Sur la nature des eaux salso-iodo-bromiques et sulfureuses de Sant' Angelo in Pontano. Macerata.
- CIALDI. *Dei movimenti del mare...* Des mouvements de la mer au point de vue hydraulique dans les ponts et sur les rivages. Milan.
- SICILIANI. *Studi sul cambiamento...* Études sur le changement de niveau de l'eau dans les puits en relation avec la pression atmosphérique. Florence.
- Annali del R. Istituto...* Annales de l'Institut royal industriel et professionnel de Turin. Vol. V. Année 1876-1877. Turin.
- Annali scientifici...* Annales scientifiques de l'Institut royal technique de Pavie. 2^e année, 1876-1877. Pavie.
- Atti del collegio...* Actes du collège des architectes et ingénieurs de Florence. 2^e année, 1^{er} fasc. (janv.-juil. 1877). Florence.
- Atti della R. Accademia...* Actes de l'Académie royale des sciences de Turin. Vol. XII. Turin.
- BIANCONI. *Considerazioni intorno...* Considérations sur la formation miocène de l'Apennin. Bologne.
- CAGNACCI. *Eclimetro al piano...* Éclimètre à plan incliné. Florence.

- CAVAZZI. *Nuovo metodo...* Nouvelle méthode d'analyse pour séparer le nickel du cobalt. Bologne.
- CONTARINI. *Miniere del Sulci.* Mines de Sulci. Cagliari.
- Enciclopedia di chimica...* Encyclopédie de chimie scientifique et industrielle, ou dictionnaire général de chimie, ouvrage original dirigé par F. Selmi. Vol. X, fasc. 9. Turin.
- LIVERANI. « *La nuova chimica* »... Considérations critiques sur l'ouvrage du prof. G. Cooke « La nouvelle chimie ». Bologne.
- Statistica del commercio...* Statistique du commerce spécial d'importation et d'exportation, du 1^{er} janvier au 30 juin 1877. Rome.
- RIGHI. *Ricerche sperimentali...* Recherches expérimentales sur l'interférence de la lumière. Bologne.
- BERTONI. *Trasformazione...* Transformation de l'hydrosilamine en acide nitrique par le permanganate de potasse. Milan.
- BRUNO. *I terreni costituenti...* Les terrains qui constituent l'amphithéâtre à l'embouchure de la Dora-Baltea. Ivree.
- NOGARIS. *Sul problema...* Sur le problème des petites oscillations. Turin.
- Ministero dei lavori...* Ministère des travaux publics; direction générale des chemins de fer. Rapport statistique sur la construction et l'exploitation des chemins de fer italiens en 1876. Rome.
- PIGORINI. *Le abitazioni...* Les habitations lacustres de Peschiera. Rome.
- BARETTI. *Studii geologici...* Études géologiques sur le groupe de Gran Paradiso. Rome.
- D'ARCAIS. *Lezioni di calcolo...* Leçons de calcul différentiel et intégral faites en 1876-77 à l'Université royale de Cagliari. Cagliari.
- L'Electricista.* L'Électricité, revue mensuelle, dirigée par L. Cappanera. Florence.
- PENNACCHIETTI. *Sugli integrali...* Sur les intégrales communes à plusieurs problèmes de dynamique. Pise.
- PIERUCCI. *Intorno ad una modificazione...* Sur une modification de la machine de Holtz du deuxième genre. Pise.
- GRABLOVITZ. *Dell' attrazione...* De l'attraction lumi-solaire en relation avec les phénomènes maréo-sismiques. Milan.

ANNALES DES MINES.

ÉTUDE
SUR
LES DISTRIBUTIONS PAR TIROIRS
DANS LES MACHINES D'EXTRACTION
ET EN PARTICULIER
SUR LE SYSTÈME DE M. L. GUINOTTE,
PRÉCÉDÉE D'UNE THÉORIE GÉOMÉTRIQUE
DU MOUVEMENT DES TIROIRS
Par M. A. HERDNER,
ancien élève de l'École polytechnique et de l'École des mines.

THÉORIE GÉOMÉTRIQUE DU MOUVEMENT DES TIROIRS.

I. Diagramme de M. Zeuner.

Dans les machines à vapeur, la distribution se fait en général à l'aide d'un tiroir qui reçoit son mouvement de l'arbre de couche, par l'intermédiaire d'un excentrique circulaire et d'une tige articulée à l'extrémité du tiroir. L'emploi économique de la vapeur, et par conséquent du combustible, dépend en grande partie des organes distributeurs; l'étude de leur mouvement est donc d'un intérêt capital.

Soient O (*fig. 1*, Pl. I) l'axe de rotation de l'arbre principal, C le centre de l'excentrique. L'articulation A de la bielle d'excentrique avec la tige du tiroir est assujettie à se mouvoir sur une droite passant par O et perpendiculaire à cet axe. L'effet produit par ce dispositif est identiquement le même que celui qu'on obtiendrait au moyen d'une manivelle de longueur OC (excentricité de l'excentrique), actionnant le point A à l'aide d'une bielle AC, dont la longueur serait égale à la distance du point A au centre de l'excentrique. Or le mouvement du tiroir est le même que celui du point A, et, si l'on projette à chaque instant la bielle CA sur la droite OA, on voit que le mouvement de A ne diffère pas sensiblement de celui de la projection de C sur la même droite, à la condition toutefois que l'angle CAO soit assez petit.

Dans la pratique, il arrive souvent que CA est 60, 80 et même 100 fois plus grand que OC. Dans ces circonstances, l'erreur que nous commettons en substituant au mouvement de A celui de la projection de C sur OA devient insignifiante. En analysant de plus près la question, on verrait de plus que les écarts maxima entre ces deux mouvements ont lieu à des instants où la lumière est complètement ouverte, et où elle est fermée depuis longtemps. Il est donc facile de se convaincre que la substitution que nous nous permettons est d'autant plus admissible qu'elle simplifie considérablement cette étude.

La question se trouve ainsi ramenée à la suivante :

Un point décrit un cercle d'un mouvement continu; étudier le mouvement de sa projection sur une droite fixe. — Nous supposons (*fig. 2*) que cette droite fixe MX passe par le centre O du cercle donné KDL. Pour toute position D du mobile, *d* sera sa projection, et la vitesse de cette projection sera la projection sur OX de la vitesse du mobile lui-même.

Soit DV cette vitesse, Dv sera celle dont est animé *d*.

Mais les triangles ODD, DVv sont semblables, et l'on en déduit :

$$\frac{Dv}{DV} = \frac{Dd}{DO},$$

donc

$$Dv = \frac{DV \cdot Dd}{DO}.$$

Mais DO est constant; DV l'est en général aussi; de sorte qu'on peut dire d'une manière absolue que Dd mesure la vitesse de *d*.

Le point *d* oscille de K en L et réciproquement; O est sa position moyenne. Nous conviendrons de mesurer le déplacement de *d*, à partir de cette position moyenne, positivement dans le sens OL, négativement dans le sens OK. Quant à la vitesse, elle sera positive si D se trouve au-dessus de KL, négative si D est en dessous.

Si à chaque instant nous décrivons un cercle sur DO comme diamètre, ce cercle constituera, par son intersection avec KL, un triangle rectangle DOd, dans lequel l'un des côtés de l'angle droit indique l'élongation de *d*, l'autre sa vitesse. Cette simple remarque suffit pour donner la clef du diagramme de M. Zeuner.

Soit O l'axe de rotation de l'arbre de couche (*fig. 2*) ou plutôt sa trace sur le plan de la figure. Soient en même temps OX la direction de la glace du tiroir, OM la manivelle motrice à son point mort. Nous supposons OM en prolongement de OX, ce qui arrive du reste souvent dans la pratique. Soit enfin OD la position correspondante de l'excentricité de l'excentrique. Nous pouvons remarquer de suite que l'angle YOD que fait cette excentricité avec la normale OY à la direction de la glace s'appelle (suivant la définition de M. Zeuner) *l'angle de calage de l'excentrique*.

D'après ce que nous avons vu précédemment, Od sera l'écart du tiroir à partir de sa position moyenne pour la

position du point mort, Dd sa vitesse. Donnons à la manivelle motrice un déplacement angulaire ω ; OD tournera du même angle dans le même sens; on peut supposer le cercle dont OD est le diamètre entraîné dans ce mouvement: Od' sera le nouvel écart et $D'd'$ la vitesse du tiroir à cet instant. On voit que pour chaque position de la manivelle on a l'écart et la vitesse du tiroir à l'aide d'un cercle de diamètre OD.

Mais il serait fastidieux dans la pratique d'avoir à décrire ce cercle dans toutes ses positions, et au lieu de supposer qu'il tourne dans le même sens que la manivelle, nous le supposerons fixe et nous ferons tourner OX du même angle en sens contraire. OX venant en OX' nous aurons évidemment:

$$Od'_1 = Od',$$

car la figure DOX' se superpose à la figure D'OX par une rotation égale à ω et décrite autour du point O. Il suffira par conséquent de décrire le cercle une fois pour toutes pour la position correspondante au point mort. Pour une position quelconque OM' de la manivelle, on mènera OX' symétrique de OM' par rapport à OY pour avoir en Od' , l'écart du tiroir.

Nous pouvons encore simplifier la construction. En effet, si nous reproduisons le cercle de diamètre OD symétriquement par rapport à OY, ce nouveau cercle OE détachera sur OM' elle-même un segment égal à celui que OD avait détaché sur sa symétrique OX'. Nous arrivons ainsi à la construction de Zeuner, qu'on peut résumer ainsi:

OM étant la manivelle motrice au point mort,
OD l'excentrique,

prenons OE symétrique de OD par rapport à OY. Décrivons un cercle sur OE comme diamètre. Pour une position quelconque OM' de la manivelle, Om' sera l'écart du tiroir

à partir de sa position moyenne, Em' sera sa vitesse au même instant.

Le cercle OE se nomme *cercle polaire* ou *cercle du tiroir*.

Remarquons enfin que l'écart du tiroir sera *positif* s'il se compte dans le sens de la manivelle, *négatif* s'il se compte sur son prolongement.

Maintenant que nous connaissons le mouvement du tiroir et que nous savons trouver sa situation à un instant donné à l'aide d'une construction fort simple, il sera aisé de déterminer les positions de la manivelle correspondant aux diverses phases d'une distribution donnée.

Soit le tiroir représenté *fig. 1* dans sa position moyenne. On voit que l'ouverture de la lumière à l'admission est égale à chaque instant à l'écart moins le recouvrement extérieur e . Décrivons (*fig. 2*) de O comme centre un cercle de rayon égal à ce recouvrement; ce sera le *cercle de recouvrement extérieur*. Pour chaque position de la manivelle l'ouverture de la lumière à l'admission sera égale au segment de cette manivelle compris entre le cercle du tiroir et celui de recouvrement. Il y a la même relation entre l'ouverture de la lumière à l'échappement et le recouvrement intérieur.

Du reste il est facile d'établir les écarts du tiroir correspondant au commencement et à la fin des diverses périodes d'admission, de détente, d'échappement, etc. De ces écarts, positifs ou négatifs, on conclura la position de la manivelle au même instant. Nous n'entrerons pas dans ces détails. Un coup d'œil jeté sur le diagramme (*fig. 3*) suffit pour faire saisir tout le mécanisme de cette construction. La figure montre également comment, par projection du bouton de manivelle sur une parallèle à la ligne des points morts, on peut obtenir les valeurs relatives des diverses phases en fraction de la course du piston.

Nous avons supposé que la direction de la glace se con-

fondait avec celle de la manivelle à son point mort. Si cette condition n'est pas remplie, la construction s'effectue néanmoins de la même manière.

Soit en effet OR la manivelle à son point mort (*fig. 2*). OX étant la direction de la glace, $\text{DOY} = \delta$ sera toujours, par définition, l'angle de calage de l'excentrique. Si OR tourne de l'angle ω , l'écart du tiroir sera égal à la corde interceptée par le cercle polaire sur la droite OM' telle que $\text{MOM}' = \omega$. Dans ce cas, M'O n'est pas la position correspondante de la manivelle, pas plus que OM n'est celle de la manivelle au point mort; mais MOM' est l'angle dont cette manivelle s'est déplacée à partir de son point mort. Les choses se passent tout comme si l'on avait fait tourner autour de l'axe O d'un angle égal à ROM l'ensemble formé par le cylindre, le piston et la manivelle, sans changer l'angle de calage de l'excentrique ni la glace du tiroir. Il est évident que ce mouvement ne changerait rien à la distribution.

On conçoit les services que ce tracé si simple et si élégant peut rendre à la construction des machines. Il est, du reste, d'une fécondité très-grande. Il s'applique à toute espèce de distributions par tiroirs, avec la même facilité qu'à celle par tiroir simple que nous venons de considérer.

Mais mon but n'est pas ici d'en faire ressortir les avantages. J'ai simplement voulu faire voir que ce diagramme, qu'en général on établit par voie analytique, peut se démontrer géométriquement d'une manière presque élémentaire.

II. — Théorème du parallélogramme des excentriques.

Lorsque l'on veut obtenir de fortes détente, le tiroir simple à recouvrement ne produit plus qu'une distribution fort imparfaite. On ne parvient en effet à accroître la période de détente qu'en augmentant le recouvrement et l'angle de calage, et par conséquent aussi la période de

compression et l'échappement anticipé. On a songé alors à employer deux tiroirs se mouvant l'un sur l'autre, et actionnés chacun par un excentrique spécial calé sur l'arbre moteur (*fig. 13*, Pl. II). Le premier tiroir, celui qui se meut directement sur la glace, est appelé *tiroir de distribution*. Il est conduit par l'*excentrique de distribution*, et se comporte comme le tiroir unique des machines ordinaires, sauf que la vapeur est obligée de le traverser de part en part. Le deuxième tiroir, appelé *tiroir de détente*, ou encore *tuile* ou *taquet de détente*, intervient pour fermer en temps utile la lumière du premier tiroir et intercepter ainsi l'arrivée de la vapeur lorsque le piston n'a parcouru encore qu'une fraction de sa course. L'excentrique qui le conduit s'appelle *excentrique de détente*.

Les deux tiroirs se mouvant simultanément, c'est du mouvement relatif que prendra le taquet par rapport au tiroir principal que dépendra la fermeture des lumières de ce dernier.

Appliquons la construction de M. Zeuner (*fig. 7*, Pl. I). OD et OF étant les excentriques de distribution et de détente, nous prendrons leurs symétriques par rapport à OY. Décrivant sur ces droites comme diamètre deux cercles, nous aurons tout ce qu'il faut pour étudier le mouvement absolu de chacun des tiroirs. En prenant enfin la différence des écarts absolus pour une position quelconque de la manivelle, nous aurons l'écart relatif des tiroirs correspondant à la même position de la manivelle.

Ainsi, pour la position OM' de la manivelle, O β et O α seront les écarts des deux tiroirs; $\beta\alpha$ sera, par conséquent, le déplacement relatif du taquet par rapport au tiroir principal. Si nous prenons actuellement sur OM' la distance O γ égale à $\alpha\beta$, le lieu des points γ sera la courbe représentative des positions relatives du taquet. On peut démontrer que cette courbe est un cercle passant par O, et qu'il sera du reste aisé de construire. Ce cercle est marqué III, *fig. 7*.

Mais alors il est évident que le cercle II devient absolument inutile, et que les cercles I et III suffiront pour l'étude de toutes les phases de la distribution :

Le cercle I représente le mouvement du 1^{er} tiroir par rapport à la glace;

Le cercle III représente le mouvement du 2^e tiroir par rapport au premier.

Or, la *fig. 13* de la Pl. II montre que le taquet fermera la lumière du tiroir principal lorsque son déplacement relatif sera de $-y$. Décrivons avec y comme rayon un cercle III de centre O. Ce nouveau cercle coupe le cercle III en un point f . Of est le déplacement relatif du taquet pour la position OM_{φ} de la manivelle. Ce déplacement est négatif parce qu'il se compte à partir de O en sens contraire de OM_{φ} ; de plus, il est égal à y ; ce sera donc pour la position OM_{φ} de la manivelle que l'admission sera coupée. Cela se fera sans que les périodes d'échappement, de compression, etc., en soient modifiées.

C'est sur ce principe que sont fondées les distributions Meyer, Polonceau et Guinotte.

Mais il y a un moyen beaucoup plus simple d'arriver au même résultat sans passer par l'intermédiaire du cercle II, lorsqu'on tient compte du théorème suivant, énoncé pour la première fois par M. Guinotte et appelé le *Théorème du parallélogramme des excentriques*.

Le mouvement relatif de l'un des tiroirs par rapport au second est identique au mouvement absolu que communiquerait au premier un excentrique idéal OG (fig. 7, Pl. I) égal et parallèle à la droite DF qui joint les centres des deux excentriques. — Le sens est celui de D vers F, c'est-à-dire dirigé vers le centre de l'excentrique guidant celui des deux tiroirs dont on étudie le mouvement relatif. Considérons en effet le triangle ODF, il reste invariable de dimensions dans son mouvement de rotation autour de l'axe O.

On a à chaque instant, par projection sur OX :

Projection de OF = projection de OD + projection de DF,

ou

écart du 2^e tiroir = écart du 1^{er} + projection de DF,

ou enfin

écart du 2^e tiroir — écart du 1^{er} = projection de OG.

Le déplacement relatif du 2^e tiroir est donc à chaque instant égal à la projection de OG sur la direction de la glace. Son mouvement relatif est par conséquent identique au mouvement absolu que l'excentrique d'excentricité OG communiquerait à ce tiroir; cela démontre le théorème.

Pour construire le diagramme, il suffira de prendre OE symétrique de OG par rapport à la normale OY à la direction de la glace, et de décrire sur OE comme diamètre un cercle qui ne sera autre chose que le cercle III. Ce cercle s'appelle souvent le *cercle polaire relatif*. Pour une position quelconque de la manivelle, il interceptera sur celle-ci une corde égale au déplacement *relatif* correspondant du 2^e tiroir par rapport au premier. La figure fait voir qu'inversement l'excentrique qui produit le mouvement absolu du taquet est la résultante géométrique de l'excentrique produisant le mouvement relatif et de celui produisant le mouvement absolu du premier tiroir (ou mouvement d'entraînement).

Autrement dit : lorsqu'un tiroir participe simultanément à deux mouvements produits chacun par un excentrique distinct, son mouvement résultant sera celui que produirait un excentrique fictif, dont l'excentricité serait égale en grandeur et position à la diagonale du parallélogramme construit sur les deux premières excentricités.

Les excentriques se composent, par conséquent, de la même manière que les mouvements et les forces. Ce principe est utile pour obtenir des dispositions cinématiques simples destinées à produire le mouvement des tiroirs dans des conditions données.

III. — Théorème de Guinotte.

Nous n'avons considéré ici que les tiroirs à connexion directe. Ce n'est pas toujours le cas. Le mouvement de la barre d'excentrique ne se transmet souvent au tiroir que par l'intermédiaire de leviers, coulisses, etc., ayant pour but, soit simplement la transmission du mouvement lorsque la glace du tiroir se trouve dans une position qui ne permet pas l'emploi d'une connexion directe, soit plus souvent le changement du sens de la rotation de la machine, et tout particulièrement la variation de la détente.

Le théorème de Guinotte permet de se rendre compte de toutes les modifications que ces mécanismes font subir au mouvement du tiroir. Voici comment on peut l'énoncer :

Si une coulisse droite AB (fig. 4, Pl. I) est menée par des bielles infinies, son coulisseau M, dans une position quelconque, se meut comme s'il était actionné par un excentrique fictif qui aurait pour centre d'excentricité le point H, lequel occupe, sur la corde DE des excentriques réels, la situation homologue à celle du coulisseau dans la coulisse. — Appliquons, en effet, la méthode indiquée par M. Marcel Deprez pour l'étude des systèmes articulés, et supposons la bielle EB désarticulée en B, et le point B de la coulisse droite AB fixé. Si l'arbre O tourne d'un angle ω , EOD viendra en E'OD', A en A', M en M₁. Le chemin décrit par le point M dans ce mouvement sera tel que

$$\frac{MM_1}{AA'} = \frac{MB}{AB}.$$

Or nous savons que les écarts d'un tiroir pour le même angle de calage sont proportionnels aux excentricités. M se sera donc mû, dans ce mouvement hypothétique, comme s'il était conduit par un excentrique OF tel que

$$\frac{OF}{OD} = \frac{BM}{AB} \quad (1)$$

Rattachons actuellement la barre EB.

A restant fixe, il faudra nécessairement amener B en B' et M₁ viendra en M' en décrivant un chemin M₁M' tel que

$$\frac{M_1M'}{BB'} = \frac{MA}{MB}.$$

Ce mouvement pourra par conséquent être produit par l'excentrique OG satisfaisant à la proportion :

$$\frac{OG}{OE} = \frac{MA}{AB} \quad (2)$$

Le déplacement réel de M, dans le mouvement de la coulisse, est MM' : c'est la résultante des deux mouvements partiels simultanés que nous venons de supposer.

Or, l'un de ces mouvements est celui que produirait OF, l'autre est celui que produirait OG; le mouvement résultant sera donc celui que produirait l'excentrique OH, diagonale du parallélogramme construit sur OF et OG.

Joignons DH et HE. Le triangle FDH est semblable au triangle HGE, car les angles DFH et HGE sont égaux comme ayant leurs côtés parallèles; de plus :

$$\frac{FD}{GH} = \frac{FH}{GE}.$$

En effet, on tire de (1) en retranchant de chaque numérateur son dénominateur :

$$\frac{OF}{FD} = \frac{BM}{MA}.$$

On tire également de (2)

$$\frac{OG}{GE} = \frac{MA}{MB}.$$

donc

$$\frac{OG}{GE} = \frac{FD}{OF}$$

et

$$\frac{FH}{GE} = \frac{FD}{GH}$$

Donc les triangles FDH et HGE sont semblables; D, H, F sont en ligne droite et l'on a :

$$\frac{DH}{HE} = \frac{OG}{GE} = \frac{AM}{MB}$$

Nous en concluons que H se trouve sur la corde DE des excentriques réels, et qu'il la partage en parties proportionnelles à celles que M détermine sur la coulisse.

Le théorème est encore vrai si M se trouve en dehors de AB; et si l'on considère la figure, on voit que la coulisse aurait le même mouvement si, au lieu d'être conduite par OD et OE, elle l'était par OD et OH, ou par deux excentriques quelconques ayant leurs centres sur la droite indéfinie DE. Cette remarque devient importante lorsqu'il s'agit de choisir les excentriques les plus commodes pour donner son mouvement à une coulisse.

Lorsqu'en outre on fait intervenir le principe de composition et de décomposition des excentriques, on peut donner à une coulisse le même mouvement au moyen d'un grand nombre de mécanismes différents. Nous verrons, à propos de l'appareil de détente de M. Guinotte, les divers systèmes que l'on peut employer pour réduire autant que possible le nombre d'excentriques et de tiges, et éviter ainsi une trop grande perte de travail par le frottement qui se développe entre les diverses pièces de l'appareil distributeur.

Il est à remarquer que le théorème de Guinotte suppose les bielles infinies et la coulisse droite. Ce n'est pas le cas dans la pratique, et, en ce qui concerne la coulisse de Ste-

phenson en particulier, il est facile de voir que, la manivelle étant au point mort, le mouvement de relevage de la coulisse suffit pour déplacer le tiroir.

Mais si l'on emploie la coulisse de Gooch, ou coulisse renversée, dont le rayon de courbure est égal à la bielle qui relie le coulisseau à la tige du tiroir, le relevage du coulisseau se fera sans que le tiroir bouge. Il n'y aura plus alors à tenir compte des effets de la courbure de la coulisse, et l'on ne devra plus considérer que les inégalités provenant de la suspension et de la nécessité où l'on se trouve d'employer des barres finies, inégalités qu'on ne pourra jamais entièrement annuler, mais qu'on pourra toujours réduire au point de les rendre pour ainsi dire insignifiantes.

ÉTUDE DE LA DISTRIBUTION PAR TIROIRS

DANS LES MACHINES D'EXTRACTION.

Les machines d'extraction des mines sont, de toutes les machines à vapeur fixes, celles qui sont soumises aux conditions les plus complexes. Sans entrer dans des détails étrangers au mécanisme de la distribution, nous dirons tout d'abord, et cela est évident, que la machine devra être à changement de marche. L'économie exige, en outre, que la vapeur travaille par détente. Mais ici le travail à effectuer est essentiellement variable : pendant que l'une des cages monte, l'autre descend, et le poids du câble, déroulé d'un côté ou de l'autre, fera varier d'une manière continue la résistance à vaincre par la machine. Cet effet est compensé en partie lorsque le câble s'enroule sur lui-même autour d'une bobine; alors le poids de la cage à monter agira sur un bras de levier qui va en augmentant à mesure que le câble s'enroule, tandis que la cage descendante agira

sur un bras de levier qui va en diminuant à mesure que le câble se déroule. Mais cette compensation, le plus souvent, est loin d'être complète, et il sera convenable de varier à mesure le travail moteur produit pendant une cylindrée. Au point de vue économique, il serait du reste rationnel, tout en modifiant la quantité de vapeur admise, de l'amener au même degré de détente prolongée pour toutes les positions de la cage. Mais comme il est impossible de faire varier la longueur du cylindre et de la manivelle motrice, on devra chercher à faire varier la détente d'une manière convenable.

On calculera alors les éléments de la machine de manière que, dans le cas de la détente la plus prolongée, sa force soit en rapport avec la résistance la plus faible à vaincre. Un appareil automatique fera varier la détente à mesure.

On exige aussi que la machine soit assez forte pour démarrer, lors même qu'elle ne marcherait qu'avec un câble et que l'une des manivelles serait à son point mort : ce cas n'est pas exceptionnel, attendu que la cage descendante repose déjà sur ses taquets un peu avant que l'autre n'arrive au jour, où elle aura du reste à effectuer diverses manœuvres. La machine devra donc être capable de produire un travail très-considérable à un moment donné. On y arrivera en supprimant la détente et en faisant fonctionner la machine à pleine pression.

En résumé, il sera convenable que l'appareil distributeur d'une machine d'extraction bien conçue remplisse les conditions suivantes :

- 1°) *Changement de marche;*
- 2°) *Variabilité de la détente entre de fortes limites;*
- 3°) *Variation automatique de la détente, et suppression de celle-ci à volonté.*

Une pareille distribution pourra convenir également à

une locomotive, sauf que la variabilité de la détente, au lieu d'être automatique, sera laissée entièrement à la discrétion du mécanicien.

Ces trois conditions peuvent être facilement remplies à l'aide de dispositifs à soupapes; mais on a cherché toujours à les réaliser au moyen de tiroirs dont le mouvement, mieux guidé, est plus à l'abri des causes perturbatrices, surtout dans les locomotives.

Jusque dans ces dernières années on n'employait guère que la *coulisse de Stephenson* ou celle de *Gooch* pour faire varier la détente et opérer le changement de marche à volonté.

Il est facile de s'assurer, à l'aide du diagramme de Zeuner, que la détente ainsi obtenue est fort limitée et qu'elle se fait dans des conditions très-désavantageuses sitôt qu'elle atteint un degré un peu élevé.

Supposons le cas d'une coulisse de Gooch et soient OM (*fig. 5, Pl. I*) la manivelle motrice et en même temps la direction de la glace du tiroir; OD, OD' les excentricités des deux excentriques guidant les deux extrémités de la coulisse. On sait que le coulisseau, dans une position quelconque, se mouvra comme s'il était actionné par un excentrique dont le centre se trouverait sur la corde DD'. Les positions comprises entre C et D correspondront à la marche dans un sens, les positions comprises entre C et D', symétriques des premières par rapport à OX, correspondront à la marche en sens contraire. Les diamètres des cercles polaires correspondant aux diverses positions du coulisseau seront, dans le diagramme, symétriques des excentricités par rapport à OY, et le lieu de leurs extrémités sera EE' parallèle à DD' et symétrique de cette droite par rapport au même axe OY. Enfin le lieu des centres de ces cercles sera $\gamma, \gamma',$ qui est à égale distance de EE' et de OY.

Si nous faisons mouvoir le centre du cercle polaire entre γ_0 et γ_4 , nous pourrons étudier successivement tous

les cas qui pourront se présenter dans les diverses situations du coulisseau dans la coulisse.

Nous avons construit le diagramme de la *fig. 5*, Pl. I, en admettant les données suivantes :

Excentricité.	0 ^m ,05
Recouvrement extérieur.	0 ^m ,01
Avance à l'admission.	0,004
Recouvrement intérieur.	0,000

Tous les cercles passent par le même point *p*. Nous pouvons en conclure immédiatement que l'avance à l'admission reste constante pour tous les degrés de détente. On remarquera aussi que la période de compression sera toujours égale à celle de la détente, du moins si on les évalue en degrés d'angles décrits par la manivelle. En projetant sur la direction de l'axe du cylindre, on reconnaîtra que la détente est légèrement supérieure à la compression, en fraction de la course du cylindre.

En analysant de plus près toutes les circonstances qui pourront se produire, nous arriverons à constater les résultats indiqués dans le tableau suivant :

POSITIONS du coulisseau dans la coulisse.	FRACTION DE LA COURSE DU PISTON correspondant à				
	ADMISSION anticipée.	ADMISSION.	DÉTENTE.	ÉCHAPPE- MENT anticipé.	COMPRESSION.
Y ₆	"	0,94	0,04	0,02	0,02
Y ₅	"	0,90	0,06	0,03	0,03
Y ₄	"	0,80	0,12	0,07	0,06
Y ₃	"	0,53	0,26	0,19	0,16
Y ₂	0,02	0,53	0,37	0,50	0,35
Y ₀	0,43	0,43			

Il est aisé de conclure de ces chiffres que la coulisse simple ne peut remplir qu'imparfaitement les conditions que nous avons posées. Elle est néanmoins encore fréquemment employée aujourd'hui.

La coulisse de Stephenson présente un inconvénient de

plus que celle de Gooch : la ligne des centres des cercles polaires n'est plus une droite, elle devient parabolique ; tous les cercles polaires ne passent donc plus par un même point *p* ; par suite les avances à l'admission ne sont plus constantes.

Il résulte de tout ce que nous venons de dire que la coulisse est surtout un appareil de changement de marche, et ce n'est qu'*accessoirement* qu'on s'en sert pour varier le degré d'admission de la vapeur dans le cylindre.

Il est vrai qu'on pourrait obtenir de fortes détentes en adaptant le tiroir de Farcot à la coulisse de Gooch, dans laquelle le coulisseau serait toujours à fond de course dans un sens ou dans l'autre. Ce tiroir porte un taquet maintenu sur lui à frottement doux, et qu'il entraîne avec lui dans son mouvement jusqu'au moment où ce taquet vient buter contre une came ; un instant après la lumière est fermée. Une vis fixée contre les parois de la boîte de distribution replace le taquet dans sa position primitive lorsque le tiroir arrive à son élongation maximum en sens inverse. La variabilité de la détente est obtenue à l'aide de la came, laquelle est mobile autour de son axe, et dont le profil est en *développante de cercle*.

Mais il est évident que si la lumière du tiroir n'est pas fermée au moment de son élongation maximum, elle restera ouverte tout le temps : les détentes faibles seront impossibles à obtenir. Cet appareil a de plus l'inconvénient de procéder par chocs et d'amener une complication dans l'intérieur de la boîte de distribution, c'est-à-dire dans une partie de la machine qui n'est pas sous les yeux du mécanicien. Il ne peut être employé que dans le cas de machines très-lentes, et il ne peut être question de l'appliquer à des machines rapides ou dont le fonctionnement régulier doit être à l'abri de tout accident.

C'est donc dans le groupe *des distributions à deux tiroirs* proprement dites qu'on a dû chercher un dispositif pou-

vant se prêter à toutes les exigences voulues. M. Guinotte, dans sa brochure, écarte tout d'abord les distributions à double boîte à vapeur, celle de Gonzenbach, par exemple, qui ne permet du reste pas à l'admission de varier entre de fortes limites.

Détente Meyer. — Le type le plus généralement répandu de distribution à tiroirs superposés, et qui réunit certainement le plus grand nombre d'avantages lorsqu'il s'agit d'une machine à sens de rotation constant, est celui de Meyer, dans lequel les deux tiroirs sont conduits respectivement par deux excentriques fixes, calés sur l'arbre moteur. La variabilité de la détente s'obtient en allongeant ou raccourcissant le taquet au moyen d'une vis à filets contraires, qui traverse les deux moitiés dont il se compose (fig. 6, Pl. I). On conçoit que l'on puisse obtenir ainsi tous les degrés d'admission voulus.

Lorsqu'il s'agit d'obtenir le changement de marche, il suffit de transmettre le mouvement au tiroir principal par l'intermédiaire d'une coulisse de Gooch, dans laquelle on maintient le coulisseau toujours à fond d'un côté ou de l'autre, selon le sens de la marche, et de caler l'excentrique de détente avec une avance angulaire de 90° , c'est-à-dire à 180° de la manivelle, symétriquement par rapport aux deux sens de rotation. Toutefois M. Zeuner déconseille l'emploi d'un angle d'avance aussi considérable, surtout lorsqu'on prend l'excentrique de détente égal à celui de distribution, ainsi qu'on fait quelquefois dans la pratique.

La raison en est que dans ces conditions les détentes faibles sont sacrifiées. Soit en effet OM_ω (fig. 7) la position de la manivelle à l'instant où l'orifice d'admission dans le cylindre est fermé par le tiroir principal. Nous savons que la détente a commencé pour une position de la manivelle OM_ρ dont le prolongement passe à l'intersection du *cercle polaire relatif* et d'un cercle décrit de O comme centre avec un rayon égal à AB (fig. 6), dimension que nous avons

précédemment appelée y . Mais ces deux cercles ont deux points d'intersection; le premier correspond en effet à la fermeture des lumières du tiroir par le taquet, mais le second correspond à la réouverture de ces mêmes lumières, réouverture qui ne doit se produire que lorsque les lumières de la glace sont elles-mêmes fermées, c'est-à-dire quand la manivelle a dépassé la position OM_ω . Il sera donc opportun de placer le centre C du cercle polaire relatif un peu au-dessus de OM'_ω ; de cette manière, les deux points d'intersection des deux cercles se trouveront de part et d'autre de OM'_ω , quelle que soit la valeur de y .

D'autre part, C devra se trouver un peu au-dessous de OM_α , position de la manivelle correspondant à l'ouverture des lumières principales; et cela afin que, dans les fortes détentes, lorsque y change de signe et devient semblable au recouvrement extérieur du grand tiroir, il n'y ait pas à craindre de supprimer, par une raison géométrique analogue, une partie de l'admission anticipée, voire même de l'admission proprement dite, pendant les premiers instants de la cylindrée.

La position du centre C dans l'angle $M_\alpha OM'_\omega$ est donc tout indiquée.

En donnant à y le signe du déplacement relatif nécessaire à la fermeture des lumières du tiroir, et en désignant par OM_λ la tangente au cercle polaire relatif, on reconnaîtra que :

- y sera *positif* pour les admissions courtes cessant avant la position OM_λ de la manivelle;
- y sera *nul* pour une admission coupée à l'instant où la manivelle se trouve dans cette position;
- y sera *négatif* lorsque la période de détente ne commence qu'après la position OM_λ de la manivelle.

Ces considérations nous amènent à adopter pour les excentriques une situation telle que OD et OF, OM étant la manivelle à son poids mort. Or, supposons que F vienne à

se placer sur le prolongement de OM en F_1 par exemple, G viendra en G_1 et E en E_1 ; et, d'après ce que nous venons de dire, les admissions prolongées seront impossibles, à moins d'amener E_1 en E_2 et de donner par suite à l'excentrique de détente des dimensions exagérées. Il en résulte qu'en soumettant la détente Meyer à la condition de pouvoir varier à volonté le sens de la marche, on ne peut plus bénéficier de tous les avantages que le système peut offrir dans le cas d'un sens de rotation constant.

M. Guinotte donne le moyen de remédier au défaut que nous venons de signaler. Soient (*fig. 2*, Pl. II) :

- OM la manivelle motrice à son point mort ;
- OD l'excentrique de distribution ;
- OF l'excentrique de détente supposé placé dans les meilleures conditions de variabilité de la détente.

Joignons DF et prolongeons cette ligne jusqu'à sa rencontre avec OM. On peut s'arranger de manière que D, M et F soient en ligne droite, du moins lorsqu'on ne tient pas à pousser la détente au delà de celle qui correspond à $\frac{1}{10}$ d'admission, et c'est le cas général.

Si nous guidons un point d'une coulisse droite par l'excentrique OD, autrement dit par la tige du tiroir de distribution ; un autre point de la même coulisse par la manivelle OM, ou par la tige du piston, le point homologue de F sur cette coulisse sera apte à conduire la tuile de détente. On arrive ainsi à la disposition de la *fig. 8*, Pl. I, donnée par M. Guinotte, dans laquelle le rapport $\frac{fd}{dm}$ est égal au rapport $\frac{FD}{DM}$ de la *fig. 2*, Pl. II (*).

Si, en relevant la coulisse, on vient à remplacer l'excentri-

(*) Dans la *fig. 8*, comme dans toutes les figures du même genre, on a représenté par de petits cercles les articulations simples, et par des points noirs les articulations dont l'axe est fixe.

que OD par OD', M restant fixe, la tuile de détente sera conduite par OF' symétrique de OF par rapport à OM, et son mouvement sera par le fait même approprié à la marche en sens contraire.

Si des exigences de construction empêchent de mettre D, F et M en ligne droite, il faudra préalablement modifier le mouvement de la tige du piston avant de lui faire conduire le point *m* de la coulisse droite. On arrive alors à la disposition de la *fig. 9*, Pl. I, qui n'est pas beaucoup plus compliquée.

La détente Meyer peut, grâce à cet artifice, s'appliquer aussi bien à une machine à renversement qu'à une machine à sens de rotation constant. On peut lui reprocher de ne se prêter, par sa construction même, ni à une variation rapide, ni à une suppression immédiate de la détente.

Voici néanmoins (*fig. 10*, Pl. I) un dispositif qui permet de réaliser ces conditions. Il est dû à M. Rancher, ingénieur de la société John Cokerill à Seraing, et a été cité par M. Pichault, ingénieur de la même société, dans une étude insérée aux *Annales industrielles* en janvier 1874.

Chaque moitié du taquet est conduite par une tige spéciale. Ces deux tiges sont actionnées simultanément par l'excentrique de détente, et leur situation relative peut être modifiée, grâce à un système spécial de leviers. On conçoit que si la tige PQ est assez grande, Q se mouvra sensiblement sur une droite, QR conservera la même inclinaison, et par suite la position relative des deux taquets restera la même pour une même position du levier S. La *fig. 11* indique ce que devient cette disposition lorsqu'on l'applique à une machine à changement de marche. Il faut convenir que ce mécanisme est très-complicé, il est plus compliqué même que celui proposé par M. Guinotte, parce qu'il fait entrer trois tiges dans la boîte à vapeur et que les pièces que celle-ci renferme sont plus nombreuses et par suite plus sujettes à variation.

Détente à tiroir cylindrique de Rieder. — M. Rieder obtient également une variation rapide de la détente en modifiant l'appareil Meyer d'une manière fort ingénieuse sans en changer aucunement le principe.

La détente Rieder a été appliquée à Příbram (Bohême). Elle est d'autant plus intéressante qu'elle y a été adoptée pour la construction de la machine du puits Adalbert, c'est-à-dire de celle qui fait le service de l'extraction dans le puits le plus profond du monde entier (*).

Soient (fig. 12) :

abcd, a'b'c'd' les lumières de la glace du tiroir ;
abef, a'b'e'f' les lumières du tiroir distributeur ;
ghk un taquet triangulaire unique dont les bords *gh, gk* sont toujours respectivement parallèles à *ae* et *b'f'*.

En faisant mouvoir le taquet dans la direction perpendiculaire à l'axe du cylindre, on pourra réaliser tous les degrés d'admission. Supposons *bf* et *a'e'* convenablement écartés. Lorsque le taquet aura été déplacé vers A d'une quantité suffisante pour que, dans le mouvement des deux tiroirs, *hg* ne puisse dépasser *bf* et que de même *kg* ne puisse dépasser *a'e'*, la détente sera celle que donnerait le tiroir distributeur s'il était seul. L'admission sera donc complète. Elle sera au contraire d'autant plus faible que le taquet aura été poussé plus loin dans la direction B.

Cela posé, on peut faire subir à cet appareil plusieurs transformations. D'abord nous pouvons aussi incliner les lumières de la glace l'une sur l'autre. Nous nous dispensons ainsi de recourber la conduite de la vapeur dans l'intérieur du tiroir distributeur. Nous pouvons aussi, si cela

(*) Le puits Adalbert a atteint en 1875 la profondeur de 1.000 mètres. C'est à cette cote que se trouve installée la dernière recette; mais l'engin actuel d'extraction a été disposé de manière à suffire jusqu'à une profondeur de 1.120 mètres.

est utile, reporter les deux lumières aux deux extrémités du cylindre. C'est ce qui a été fait à Příbram. Le taquet *hkf* est alors partagé en deux segments trapézoïdaux reliés par une tige.

Enfin il n'y a rien de changé au principe de l'appareil, si la surface supérieure du tiroir distributeur, au lieu d'être plane, devient cylindrique. Les lumières seront alors délimitées par des portions d'hélice, et le taquet sera un cylindre dont les deux extrémités seront découpées hélicoidalement. Les fig. 13, 14 et 15, Pl. I, représentent les tiroirs de la machine du puits Adalbert. Il suffit de tourner la tige du taquet autour de son propre axe pour obtenir tous les degrés de détente voulus. En disposant convenablement des diverses dimensions, on peut réduire à 90° l'angle que devra décrire le taquet pour passer de la position d'admission complète à celle correspondant à la détente la plus prolongée, en passant par tous les degrés intermédiaires.

On peut difficilement imaginer un dispositif plus simple. Cependant telle qu'elle a été adoptée à Příbram, cette solution ne présente pas tous les avantages que nous pouvons actuellement demander à la détente Meyer. Afin de satisfaire aux exigences du changement de marche, on s'est contenté de caler l'excentrique de détente à l'opposé de la manivelle, et nous avons vu que ce n'est pas là la situation la plus avantageuse que l'on puisse donner à cet organe.

Le diagramme de la machine de Příbram est représenté fig. 16, Pl. I. On voit que, malgré la dimension relativement grande de l'excentrique de détente, l'admission ne peut dépasser les 0,78 de la course du piston sans se faire en deux fois. Il est vrai qu'à ce faible degré de détente la réouverture des lumières n'a plus une importance bien considérable, mais rien n'empêche de combiner le tiroir de Rieder avec le levier de M. Guinotte, de même que nous avons combiné le levier de M. Guinotte avec le dispositif de M. Racher. Nous obtiendrons ainsi une solution com-

plète de la distribution dans la machine d'extraction, moins compliquée que la précédente.

Au lieu de faire varier les dimensions du taquet, autrement dit, au lieu de faire varier y en maintenant l'excentrique fixe, on peut se servir d'un taquet d'une seule pièce, de dimension par conséquent constante, et actionné par un excentrique variable.

C'est ce que fait M. Guinotte. Polonceau avant lui avait appliqué ce système aux locomotives. Mais Polonceau employait simplement une coulisse de Gooch qu'il disposait de manière à y faire glisser deux coulisseaux. L'un, toujours à fond, actionnait le tiroir de distribution; l'autre conduisait le taquet de détente, et faisait varier l'admission selon sa position dans la coulisse. Il serait facile de s'assurer que cette variabilité n'est possible qu'entre des limites bien rapprochées.

Nous allons voir, par une étude approfondie du diagramme, de quelle manière M. Guinotte a résolu le problème. Nous suivrons, du reste, dans cet exposé, une marche analogue à celle suivie par l'inventeur lui-même dans la brochure qu'il a publiée sur ce sujet.

Solution de M. Guinotte.

Nous supposons donnés les éléments du tiroir de distribution. Ces éléments seront choisis en général de manière que, à admission complète, c'est-à-dire si le taquet n'existait pas, l'avance à l'admission, la compression et l'échappement se fassent dans de bonnes conditions. Le taquet ayant pour fonctions spéciales de couper l'admission, il suffira que le tiroir principal, marchant seul, puisse donner par lui-même une admission de $\frac{9}{10}$ de la course du piston.

Nous admettrons donc, pour fixer les idées, les éléments suivants concernant le tiroir de distribution :

Lumières.	0 ^m ,04
Recouvrement extérieur.	0 ^m ,01
Recouvrement intérieur.	0 ^m ,00
Avance à l'admission.	0 ^m ,004
Élongation maximum.	0 ^m ,05

Quant aux dimensions du taquet de détente, nous sommes libres de les choisir dans des limites assez éloignées. Nous verrons plus loin comment ce choix doit être fait. Contentons-nous de dire ici que M. Guinotte lui donne, en général, une longueur un peu moindre que la distance l (fig. 13, Pl. II) des bords intérieurs des deux lumières du tiroir principal, en sorte que ces lumières sont entièrement démasquées lorsque le taquet se trouve dans sa position moyenne par rapport au tiroir de distribution.

La fig. 13 représente les tiroirs dans leur position moyenne. Il est entendu que, de la manière dont ils sont conduits, ils ne pourront jamais occuper simultanément cette position. Nous ne les représentons ainsi que pour nous rendre compte plus facilement de leurs divers mouvements. Pour plus de simplicité, nous pouvons supposer que la longueur du taquet soit précisément égale à l , de sorte que $y = -4$ centimètres.

Nous avons maintenant tout ce qu'il faut pour construire le diagramme de la distribution et étudier, à l'aide de ce tracé, le mouvement que nous devons donner au taquet dans les divers cas qui peuvent se présenter.

OM est la manivelle motrice (fig. 1, Pl. II),
Op sera pris égal à 14 millimètres,
OD..... à 5 centimètres.

En sorte que le cercle décrit sur Od comme diamètre est le cercle représentatif du mouvement du tiroir principal, mouvement qui est entièrement défini.

La lumière de la glace s'ouvrira pour une position OM_α de la manivelle, et se fermera pour une position OM_ω.

La lumière du tiroir, au contraire, sera fermée, dans tous les cas, pour un déplacement relatif du taquet égal à y , c'est-à-dire à -4 centimètres.

Si nous décrivons de O comme centre un cercle de rayon y , ce cercle sera le même pour tous les degrés de détente, contrairement à ce qui arrive dans la distribution Meyer, et nous chercherons à déterminer le cercle polaire relatif qu'il faudra adopter selon le degré que l'on voudra réaliser.

Proposons-nous donc de déterminer le mouvement qu'il faudra donner au taquet pour arrêter l'admission au moment où la manivelle aura tourné d'un angle tel que MOM_λ . La direction OM_λ prolongée au delà de O , coupe le cercle y en un point λ .

L'élongation du taquet devant avoir acquis la valeur négative y pour la position OM_λ de la manivelle, le cercle représentatif du mouvement relatif de ce taquet devra contenir la corde $O\lambda$, comptée à partir de O en sens inverse de la direction OM_λ .

D'autre part, son rayon devra être tel que le deuxième point d'intersection λ' des deux cercles ne se trouve pas du même côté que λ par rapport à OM_λ . Autrement, on le sait, il y aurait une seconde admission de vapeur pendant la même cylindrée, ce qui serait nuisible à une marche régulière de la machine.

Le diamètre Ol du cercle polaire relatif étant déterminé, d'après ces conditions, Ol son symétrique par rapport à OY , sera en grandeur et position l'excentrique fictif apte à donner au taquet le mouvement absolu identique à son mouvement relatif. En composant cet excentrique avec celui de distribution OD , on obtiendra l'excentrique OF , qui devra donner au taquet le mouvement absolu correspondant.

On voit qu'avec les conditions que nous venons de poser, le diamètre Ol est encore assez arbitraire, et si l'on con-

struit les divers cercles polaires correspondant aux divers degrés de détente, on pourra s'arranger facilement de manière que leurs centres se trouvent sur une droite cc' . Alors les points l se trouveront sur une droite az parallèle à la première. Le lieu des points L sera une droite AZ symétrique de az par rapport à OY . Enfin les points F , centres des excentriques aptes à produire le mouvement absolu du taquet dans les divers cas, se trouveront tous sur une droite parallèle à AZ .

Le théorème de M. Guinotte nous permet de prévoir les résultats de cette circonstance : pour obtenir tous les degrés de détente, il suffira de conduire le taquet à l'aide d'un coulisseau se mouvant dans une coulisse dont deux points seront actionnés directement par deux excentriques OF et OF' , que l'on choisira comme dans la détente Meyer, de manière à rendre facile l'opération du changement de marche.

Mais il suffit que nous entrevoyions pour le moment la possibilité de ces dispositions. Avant de les étudier à fond, il faut voir comment nous déterminerons la droite, lieu des centres des cercles polaires relatifs, et, par suite, celles qui en dérivent. Cette droite devra remplir les conditions suivantes :

- I. Permettre tous les degrés de détente depuis l'admission complète jusqu'à l'admission de $\frac{1}{10}$.
- II. Éviter toute réadmission de la vapeur.
- III. Réduire autant que possible le diamètre des cercles polaires relatifs, afin de diminuer le frottement dû au mouvement du taquet, tout en permettant à la lumière du tiroir de se fermer avec une vitesse suffisante pour ne pas laminer la vapeur.

En ce qui concerne la première condition, nous ferons remarquer que le centre d'un cercle polaire quelconque s'obtient par l'intersection de la ligne des centres cc' , et de la perpendiculaire élevée sur le milieu du rayon $O\lambda$, le

rayon $O\lambda$ se trouvant sur le prolongement de la position de la manivelle OM_λ pour laquelle l'admission doit être coupée. Pour que cette intersection soit possible, il faut que cc' ne soit perpendiculaire à aucune des directions que peut prendre la manivelle entre OM_α et OM_ω , et si l'on considère le point O_1 , symétrique de O par rapport à la ligne des centres, ce point O_1 devra se trouver dans l'angle $M_\alpha OM'_\omega$. Il suffirait que ce point tombât sur la droite OM'_ω pour que l'admission complète ne devint possible que par l'emploi de mécanismes de dimension infinie.

La deuxième condition, traduite géométriquement, revient à dire que le deuxième point d'intersection λ' , du cercle de rayon y avec l'un quelconque des cercles polaires relatifs, ne doit jamais se trouver au-dessous de la droite OM'_ω . Or il est évident que tous ces cercles passeront par O_1 symétrique de O par rapport à cc' , et tant que O_1 se trouvera dans l'angle $M_\alpha OM'_\omega$, le point λ' ne pourra se trouver au-dessous de OM'_ω ; car O_1 , étant en général en dehors du cercle y , se trouve placé entre λ et λ' , et peut tout au plus se confondre avec λ' si OO_1 devient égal à y .

La deuxième condition est donc réalisée en même temps que la première et d'une manière fort simple. Mais le lieu des centres étant nécessairement une droite, à cause des mécanismes dont nous disposons, il ne sera pas possible de satisfaire à la troisième condition également bien pour tous les cercles. Leurs diamètres seront nécessairement inégaux; mais la direction de la ligne des centres cc' étant fixée, nous pouvons encore disposer de sa distance au point O . Nous ne pouvons évidemment la faire plus petite que $\frac{y}{2}$,

mais rien ne nous empêche de la faire égale à cette quantité en vue de réduire les frottements, car la vitesse de fermeture des lumières est encore bien suffisante.

Les conditions posées nous amènent donc à placer le point O_1 sur l'arc $\alpha\omega$ du cercle y . Ce point n'est donc pas

entièrement déterminé, mais plus il s'approche de α , plus le laminage diminue; plus au contraire il est près de ω , plus les frottements sont réduits. Dans la pratique, on se conforme à la règle suivante énoncée par M. Guinotte :

« Mener la droite cc' perpendiculaire à OQ , position de la manivelle pour laquelle la lumière de la glace est déjà fermée de 3 ou 4 millimètres, et à une distance de O égale à $\frac{y}{2}$ ».

Remarquons toutefois que OO_1 peut être plus grand que y ; on y gagne en vitesse de fermeture, mais à mesure que cc' s'éloigne de O , c'est le frottement qui s'exagère.

Détermination de la longueur à donner au taquet. — On reconnaît (fig. 1, Pl. II) que depuis l'admission $\frac{1}{10}$ jusqu'à l'admission complète, le centre de l'excentrique de détente variera de F_β à F_ω . Il n'est pas bien nécessaire, en général, de descendre jusqu'à l'admission o . Cette condition allongerait beaucoup la ligne des centres et par conséquent la coulisse de détente, sans grand intérêt. Aussi considère-t-on dans la pratique une admission de $\frac{1}{10}$ comme suffisamment petite. Ces limites étant posées, nous pouvons indiquer la longueur qu'il faut donner au taquet de détente. Il est évident que le frottement étant proportionnel à la pression, il y a tout intérêt à donner moins de prise à cette dernière en rendant le taquet le plus petit possible. C'est en vue de réduire sa dimension que M. Guinotte donne aux ouvertures du tiroir principal une forte inclinaison vers l'axe. Mais si l'on exagère ce rapprochement des lumières, il pourrait arriver que pour un écart trop fort du tiroir de détente la vapeur se réintroduise par le bord postérieur de cet organe.

Cette circonstance, pour se produire, exige un déplacement :

$$l + y - a,$$

l étant la longueur du taquet, a la dimension de la lumière du tiroir.

Il faudra par suite choisir l de manière que $l + y - a$, ou simplement l , dans le cas qui nous occupe (puisque nous avons supposé $y = a$), soit supérieur à la plus grande élongation du taquet. En décrivant de O comme centre un cercle de rayon égal à $l + y - a$, ce cercle devra envelopper tous les cercles polaires relatifs.

Nous n'avons considéré ici que l'une des courses du piston, celle de gauche à droite. La distribution s'étudie de même pour la course inverse, c'est-à-dire pour l'angle $M'AM$ décrit par la manivelle motrice. Il suffirait de reproduire symétriquement par rapport à O les cercles que nous avons tracés. Mais il est bien plus simple de se servir de ces cercles eux-mêmes en comptant sur le prolongement de la manivelle au delà du point O les distances que nous étions habitués à compter dans le sens même de la manivelle, et inversement. Ceci est, du reste, conforme à l'hypothèse que nous avons faite sur le sens des déplacements.

Les phases de la distribution seront les mêmes; cela est si manifeste que nous n'aurions même pas relevé ce détail si nous n'avions à faire à ce propos une remarque au sujet des inégalités dues à l'inclinaison des bielles.

Les bielles d'excentriques ont peu d'effet comme on sait. Il n'en est plus de même en ce qui concerne la bielle motrice qui n'a en général que 4 ou 5 fois la longueur de la manivelle.

Si l'on considère le piston au $\frac{1}{4}$ de sa course avant, puis au $\frac{1}{4}$ de sa course arrière, on constate que les positions correspondantes de la manivelle motrice ne sont pas à 180° l'une de l'autre. C'est ce que montre la *fig. 3*, Pl. III, sur laquelle se trouvent indiquées toutes les positions du bouton

de manivelle correspondant aux positions du piston de dixième en dixième de sa course.

Si donc la fermeture de la lumière, pendant la course avant du piston, a lieu pour une position OM_4 de la manivelle correspondant à l'admission $\frac{1}{4}$, pendant la course arrière, la fermeture aura lieu pour la position diamétralement opposée de la manivelle OM''_4 , laquelle ne correspond plus du tout à l'admission $\frac{1}{4}$. Or il est nécessaire que pour

une même position du coulisseau, dans la coulisse de détente, le degré d'admission soit le même sur chaque face du piston. Il faut donc que, sur le diagramme, le même cercle polaire relatif produise la fermeture pour deux positions différentes de la manivelle. On y arrive en changeant la valeur de y , de sorte que cette quantité n'est *pas la même* pour les deux côtés du tiroir. Mais la correction qu'il faut faire subir à y n'est nécessairement pas constante pour tous les degrés de détente à réaliser. On devra se contenter de choisir une valeur moyenne. On y arrive sans grands tâtonnements, et la légère différence qui subsiste entre les degrés d'admission à droite et à gauche du piston n'a pas en réalité une grande importance. M. Guinotte conseille de compenser ces irrégularités à l'aide de celles qui résultent de l'obliquité des autres bielles. Un moyen ingénieux consiste à prendre le mouvement du taquet directement sur la tige du piston. On annule ainsi en partie les effets de l'obliquité de la bielle motrice. Le constructeur devra, du reste, étudier avec soin le résultat de toutes ces influences diverses, en faisant l'épure complète des courbes du tiroir. Nous donnerons un exemple de ce genre de travail lorsque nous parlerons de la machine du puits Saint-Joseph à Ronchamp.

Remarque. — On sait que la valeur de y joue un rôle important dans l'établissement du diagramme. Or on vient

de voir qu'il y a deux valeurs différentes de y . Il est évident que c'est à la plus grande de ces deux valeurs que l'on devra appliquer la règle de M. Guinotte.

Dispositions cinématiques aptes à donner leur mouvement aux tiroirs. — Dans ce qui suit, nous désignerons toujours par les lettres majuscules les centres des divers excentriques réels ou fictifs; nous désignerons par les minuscules correspondantes les divers points des coulisses ou autres pièces auxquelles ces excentriques communiquent leur mouvement. Soient donc comme précédemment (*fig. 2, Pl. II*):

- OM la manivelle motrice;
- OD l'excentrique conduisant le tiroir de distribution pendant la marche avant;
- OD' celui pour la marche arrière;
- FE le lieu des centres des excentriques aptes à conduire le taquet pour les divers degrés d'admission à réaliser.

La variabilité de la détente s'obtiendra en faisant mouvoir le coulisseau adapté à la tige du taquet dans une coulisse droite fe dont deux points sont actionnés par deux des excentriques, réels ou fictifs, ayant leur centre sur FE. Il s'agit de choisir ces excentriques dans les conditions les plus convenables pour réduire le nombre des tiges et obtenir le changement de marche à l'aide d'un levier seulement. Nous choisirons tout d'abord l'excentrique OE, lequel ayant un angle de calage de 90° , est aussi bien disposé pour la marche avant que pour la marche arrière. Quant au deuxième excentrique OF, nous sommes libres de le choisir dans certaines limites; mais, dans tous les cas, ce deuxième excentrique sera un excentrique fictif, et nous obtiendrons le résultat qu'il produirait s'il était réel, en combinant les mouvements déterminés par les excentriques OD, OE et OM (tige du piston).

De ces trois excentriques, OD est le seul qui ne convienne qu'à un sens unique de rotation. Mais en remplaçant OD par OD' à l'aide du levier de changement de marche, tout

le diagramme sera reproduit symétriquement par rapport à OM, de sorte qu'en disposant le tiroir de distribution pour l'un ou l'autre sens de rotation à l'aide d'un simple levier, le tiroir de détente recevra, par le fait même, un mouvement approprié au même sens de rotation. Grâce à cet artifice, pour la marche avant comme pour la marche arrière, la distribution fonctionnera d'une manière absolument identique.

Il y a un grand nombre de solutions pouvant réaliser les conditions que nous venons d'exprimer. Mais les principaux mécanismes actuellement en usage peuvent se réduire à un fort petit nombre de dispositifs partiels dont ils ne sont que des combinaisons et que nous allons exposer.

Nous verrons d'abord les différentes manières de réaliser le mouvement que produit l'excentrique OE. Nous nous occuperons en second lieu du choix du point F et de la manière de le conduire, enfin en troisième lieu de l'excentrique OD.

I.

L'excentrique OE est en général un excentrique réel; il suffit que la longueur OE ne soit pas trop grande. Mais on peut obtenir le même mouvement en se servant de la tige du piston. Le mouvement de cette dernière est celui que produit l'excentrique OM. La corde, ME des deux excentriques passant par O, une coulisse droite actionnée d'une part par OM, de l'autre par OE, oscille par conséquent autour d'un point fixe φ (*fig. 3, Pl. II*). On peut donc supprimer OE en transformant le mouvement de la tige du piston à l'aide d'un levier du premier genre me oscillant autour de φ et dans lequel on aura :

$$\frac{e\varphi}{\varphi m} = \frac{EO}{OM}$$

On aura soin de mettre une articulation au point μ , afin

de permettre à μm d'exécuter les petites oscillations dues à ce que M décrit un arc de cercle et non pas une ligne droite.

II.

La coulisse de détente étant actionnée en l'un de ses points e par l'excentrique OE, il reste à choisir le deuxième point F (*fig. 4*, Pl. II).

On peut à cet effet prendre ce point à l'intersection de FE et de OD. Alors le mouvement produit par ce point F pourra être obtenu par une simple amplification du mouvement dont est animée la tige du tiroir principal. Un levier dont une extrémité est fixe et qui, d'autre part, est relié à cette tige, satisfera parfaitement. On arrive alors à l'une des dispositions indiquées *fig. 4* et 5, Pl. II.

Ici encore nous avons dû employer une bielle auxiliaire $\delta\delta'$ qui empêche le levier $f\varphi$ d'exercer une influence perturbatrice sur le mouvement rectiligne de la tige du tiroir principal.

Cette disposition a un inconvénient. Elle ne peut être employée que si OD et FE se rencontrent en un point relativement rapproché; autrement le levier $f\varphi$ et la coulisse prendraient des proportions exagérées. On arrive à des dispositifs plus élégants de la manière suivante.

Joignons MD (*fig. 2*, Pl. II) et prolongeons cette droite jusqu'à sa rencontre avec FE. Soit F ce point de rencontre. Si nous actionnons deux points d'un levier, l'un par l'excentrique OD, l'autre par OM (ou la tige du piston), nous trouverons sur ce levier, en dehors des deux points conduits, un certain point f qui se mouvra absolument comme s'il était actionné par l'excentrique OF. La *fig. 6* fait voir la réalisation de ce dispositif. Nous y avons supposé OE réel.

On peut encore ici supprimer l'intervention de la tige du piston, qui fait évidemment double emploi avec OE.

On arrive ainsi à la solution de la *fig. 7*, qui est fort employée dans la pratique. Elle a l'avantage de ne pas exiger que F soit pris sur MD. On peut beaucoup réduire l'amplitude des oscillations en rapprochant de O l'intersection de OM et de DF (*fig. 2*).

III.

Nous avons toujours supposé ici que OD était un excentrique réel, et nous avons transmis son mouvement à travers tous le mécanisme de la distribution sans le modifier aucunement. Mais une remarque bien simple permet de réduire le nombre des pièces qui constituent la dernière disposition que nous venons d'indiquer.

Si au lieu de guider le levier mf de la *fig. 6* par OM et OD (*fig. 2*), on remplace ce dernier par l'excentrique OB dont l'angle de calage est nul, le mouvement du levier mf ne sera modifié absolument en rien (*fig. 8*); et le point d de ce levier, choisi tel que $\frac{db}{dm} = \frac{DB}{DM}$, sera encore apte à conduire le tiroir principal tout comme si ce point était, comme précédemment, actionné directement par l'excentrique OD.

Ce levier fm aura alors quatre articulations au lieu de trois; mais la coulisse de changement de marche conduite par deux excentriques dont la corde passe par O se mouvra autour d'un point fixe. Rien ne nous empêche donc de fixer ce point de la coulisse, et de supprimer un excentrique et sa bielle.

Cette solution (*fig. 8*, Pl. II) est celle qui a été citée par M. Haton de la Goupillière, dans son *Cours de machines de l'École des mines*. Elle présente cette particularité qu'elle permet de remplir toutes les conditions énoncées page 18, à l'aide d'un seul excentrique.

La plupart des dispositions usitées se ramènent aux précédentes; mais il est évident que leur nombre est illimité.

Appareils produisant automatiquement la variation de la détente. — Nous avons dit que le degré de la détente devait être variable pendant l'ascension d'une cage, attendu que la résistance varie continuellement. Or, il est aisé d'évaluer le moment de cette résistance pour chaque position des cages. Nous pouvons représenter la variation de ce moment à l'aide d'une courbe, en prenant pour abscisse le nombre de tours effectués par la bobine à partir d'une position initiale qui sera par exemple celle où les deux cages sont à la même hauteur dans le puits. Cette courbe est une droite lorsque l'on emploie les tambours cylindriques et le câble rond.

Si M est le moment résistant à un instant donné,
 P la charge utile,
 h la hauteur du puits,
 ρ le rayon du tambour,
 n le nombre de tours à un instant donné comptés à partir du point de rencontre des deux cages,
 et p le poids du câble par mètre courant,
 on aura à chaque instant :

$$M = P\rho - 4p\pi\rho^2n,$$

équation d'une droite dont le coefficient angulaire :

$$- 4p\pi\rho^2$$

a toujours une valeur finie, et ne saurait être réduit sans inconvénient.

Si, au contraire, on emploie le câble plat s'enroulant sur lui-même autour d'une bobine, la courbe devient du troisième degré. Son équation est, en conservant les mêmes notations et en appelant e l'épaisseur du câble et P_1 le poids mort :

$$M = P\rho + n \left[(P + 2P_1 + ph)e + \frac{ph^2e^2}{8\pi\rho^2} - 4p\pi\rho^2 \right] - 2p\pi e^2 n^3.$$

Cette courbe, qui présente un point d'inflexion pour $n = 0$, se rapproche beaucoup d'une droite, le coefficient de n^3 étant en général petit.

Mais ici nous avons sur l'emploi des tambours un grand avantage : on sait, en effet, qu'en choisissant convenablement les divers éléments de l'installation, on peut rendre le plus petit possible l'écart maximum entre M et le moment moyen $P\rho$. Il suffit de choisir pour ρ la valeur positive donnée par la formule :

$$\rho = \sqrt{\frac{eh}{4\pi} \left[\frac{P + 2P_1 + ph}{2ph} + \sqrt{\frac{(P + 2P_1 + ph)^2}{(2ph)^2} + \frac{1}{8}} \right]}.$$

La courbe des moments se rapproche alors beaucoup d'une droite horizontale, la variation du moment peut être considérée comme nulle, et la machine d'extraction peut être sans inconvénient à détente fixe. Malheureusement des nécessités pratiques ne permettent pas le plus souvent d'admettre cette valeur de ρ , et il faut se résigner à laisser varier la résistance.

Au reste, cette courbe ne représente pas la variation des moments de la puissance, attendu que nous n'avons tenu compte, dans sa construction, ni des résistances passives, ni de l'inertie à vaincre au moment de la mise en train, au moment de l'arrêt du système en mouvement, et même pendant tout le trajet, la vitesse des cages étant essentiellement variable.

L'expérience seule peut donner des renseignements à l'égard de ces résistances et des études approfondies de M. Guinotte, résumées en formules empiriques ou en tableaux, permettent de s'en rendre compte avec une approximation très-suffisante.

On déduira de ces évaluations le degré de détente nécessaire pour les diverses positions de la cage, et l'on construira une autre courbe ayant encore pour abscisses le

nombre de tour des bobines, et pour ordonnées les diverses hauteurs du coulisseau dans la coulisse de détente.

C'est cette courbe qui a servi de profil à la pièce principale de l'appareil automatique, dans l'une des premières machines du système de M. Guinotte, celle de la fosse de la Réunion à Mariemont, dans laquelle tout le mécanisme de la détente se trouve placé de l'autre côté du cylindre par rapport à l'arbre de couche.

Cette pièce, appelée *sabre*, mue par la machine elle-même, est animée d'un mouvement de translation. La bielle de relevage du coulisseau s'appuie sur ce sabre et place ainsi à chaque instant le coulisseau dans la position qui lui convient dans les diverses périodes d'une ascension (*fig. 9, Pl. II*).

Afin de satisfaire aux exigences du changement de marche, on emploie deux sabres agissant chacun sur un galet adapté à la bielle de relevage. Chaque galet est fixé à l'aide d'une charnière et d'un ressort, de telle manière qu'il ne peut agir que dans l'un des sens de la marche. A chaque sens de marche correspondent donc un sabre et un galet différents, en sorte que, pour une même position géométrique des cages dans le puits, la détente sera néanmoins différente selon le sens du mouvement, selon que l'une ou l'autre des deux cages est chargée du minerai à extraire. C'est encore le sabre qui dispose la machine pour la pleine pression au moment de l'arrivée d'une cage au jour, ce qui est nécessaire pour les manœuvres.

Dans les modèles les plus récents, l'appareil n'a changé que de forme. L'arbre de couche transmet son mouvement à un arbre fileté dont l'axe est parallèle à celui des cylindres et qui traverse deux écrous *EE'* (*fig. 10, Pl. II*). Ces deux écrous ou *tocs*, guidés à l'aide d'une tringle de fer, ne peuvent prendre qu'un mouvement de translation rectiligne. Chacun est muni d'un galet destiné à agir sur un sabre, spécial à chacun, et qui constitue l'une des branches d'un levier coudé mobile autour d'un axe fixe. Le mouve-

ment des sabres se transmet par un système de tringles à la bielle de relevage du coulisseau.

Lorsque l'une ou l'autre des cages est au fond, les écrous sont à fond de course vers l'une ou l'autre extrémité de la vis. Supposons que ce soit *E'* qui soit à l'extrême droite, ainsi que l'indique la figure. Au moment du départ, *E* et *E'* se mettront en marche vers la gauche en restant toujours à la même distance l'un de l'autre. *E'* agissant sur le sabre *S* fera monter le coulisseau. Quant à *E*, il ne peut produire aucun effet sur *S*, son galet étant fixé à l'aide d'une charnière à ressort de manière à ne pouvoir exercer aucune pression lorsqu'il marche dans le sens que nous considérons. Vers la fin de l'ascension, les écrous seront en *T* et *T'*, et au moment où la cage arrivera au jour, le galet *E'* sera arrivé à l'extrémité du sabre; à l'instant où le contact cessera, les sabres retomberont grâce à l'action du contre-poids *P* (*fig. 10*), et la machine sera disposée pour l'admission complète.

Après les manœuvres, la cage du jour devra redescendre et le mouvement changer de sens; *E* et *E'* se transporteront alors vers la droite, et *E*, qui était arrivé à sa position gauche extrême, agira par son galet sur le sabre *S*, et ce sera *E'* qui sera sans effet.

On conçoit que, le profil des sabres étant convenablement tracé, la machine se trouvera toujours au degré de détente exigé par la position des cages et le sens de leur mouvement.

Tracé du sabre. — Le tracé de ce sabre ne présente aucune difficulté lorsqu'on le dispose comme celui que nous avons décrit en premier lieu (*fig. 9*). Lorsqu'on adopte, au contraire, comme on le fait aujourd'hui généralement, la seconde disposition, on opère de la manière que je vais indiquer.

Je suppose établie la série des degrés d'admission nécessaires pour chaque tour de la machine depuis le moment

où la cage quitte le fond jusqu'à celui où elle apparaît au jour. Je prendrai comme exemple la série suivante qui est celle qu'on a adoptée pour le puits Pruhon, à Kladno, en Bohême, dans lequel l'extraction se fait en 22 tours :

À la fin du 1^{er} tour, l'admission est de 0,70 de la course du piston.

—	2°	—	0,50	—
—	5°	—	0,40	—
—	4°	—	0,50	—
—	5°	—	0,25	—
—	6°	—	0,20	—
—	10°	—	0,18	—
—	15°	—	0,15	—
—	20°	—	0,12	—
—	22°	—	0,10	—

Il sera facile, à l'aide de constructions graphiques, de déduire de là, pour chaque degré de détente, la position de la partie rectiligne du sabre, ou du moins de ce que serait cette partie rectiligne si le sabre se réduisait à une ligne et le galet à un point. Cela se réduit à une simple question de leviers.

Soient donc (fig. 11) $O_1, O_2, O_3, \dots O_p$ les positions de l'élément rectiligne théorique du sabre pour les admissions 0,1, 0,2, 0,3... et la pleine pression ;

Soient, d'autre part, $g_0, g_1, g_2, \dots g_{22}$ les positions du galet à l'instant initial et à la fin du 1^{er}, du 2^e, du 5^e,... du 22^e tour. Le profil doit être tel qu'en s'appuyant :

sur g_0 le levier soit à la pleine pression.

—	g_1	—	l'admission	0,70
—	g_2	—	—	0,50
—	g_3	—	—	0,40 etc.

Le profil est ainsi parfaitement déterminé. Mais il serait long de faire mouvoir graphiquement à la fois le sabre et le galet, d'amorcer à chaque fois le profil, et de reproduire dans chaque situation la portion déjà construite.

Au lieu de faire mouvoir le sabre, on fait mouvoir le galet en sens inverse. Reproduisons les directions O_1, O_2, O_3, \dots etc. symétriquement par rapport à O_p en O_1', O_2', O_3', \dots etc.

Décrivons, en outre, des cercles de O comme centre avec des rayons égaux à Og_1, Og_2, Og_3, \dots etc.. Og_{22} , nous formerons ainsi un réseau de coordonnées sur lequel nous déterminerons les points situés :

Le 1^{er} sur le cercle g_1 et la droite o_7'

2°	—	g_2	—	o_5'
5°	—	g_3	—	o_4'
.	—	.	—	.
.	—	.	—	.
.	—	.	—	.
.	—	.	—	.
.	—	.	—	.
.	—	.	—	.
22°	—	g_{22}	—	o_1'

en faisant toujours correspondre l'indice du cercle avec la droite qui lui est assignée par le tableau des détentes donné plus haut.

Ces points sont occupés successivement par le centre du galet dans son mouvement relatif par rapport à O_p . Construisons le galet dans chacune de ses positions, la courbe-enveloppe des galets sera le profil du sabre. On coupe l'extrémité du sabre de manière qu'il tombe après le dernier tour qui est ici le 22^e. En général, un butoir suit le galet, et c'est celui-là qui détermine la chute. Le sabre se trouve par là un peu raccourci, mais le profil du butoir rattrape ce que l'on perd sur celui du sabre.

On a pu voir que dans cette construction il y a encore bien des indéterminées. D'abord nous n'avons pas fixé l'amplitude de la course du sabre, ni indiqué le degré de détente pour lequel sa partie rectiligne doit être horizontale. La position initiale du galet par rapport au centre O et le pas du galet sont encore autant d'indéterminées. On

les choisira évidemment dans chaque exemple comme les circonstances l'indiqueront. Disons toutefois que pour que l'action du galet sur le sabre soit facile, il sera bon que son profil soit plutôt allongé que trop recourbé.

Ceci exige que la course angulaire du sabre soit petite et que le pas du galet ne soit pas trop minime.

De la suppression de la détente à un instant donné. — Il peut arriver que le mécanicien ait besoin de mettre la machine à pleine pression au milieu d'une ascension, en cas d'accident par exemple. A cet effet, le levier CD (fig. 10) est indépendant de l'axe C sur lequel AB est calé, il ne reçoit le mouvement que lorsque la griffe G' (fig. 12) est engagée dans la griffe G fixée sur l'axe. Dans les conditions ordinaires le contre-poids π maintient les deux griffes en prise.

Mais si le mécanicien vient à donner un coup de pied sur la pédale π , le contre-poids P interviendra immédiatement pour établir la pleine admission (fig. 10).

Cet état durera jusqu'au moment où l'une des cages étant arrivée au jour, la griffe G soit de nouveau disposée pour recevoir la griffe G' sollicitée constamment par le contre-poids π .

Cette dernière disposition permet donc de parer à tout accident. La machine pourra en outre continuer à fonctionner lors même que l'une des cages venant à se détacher, la détente normale ne serait plus suffisante pour élever l'autre toute seule.

Nous réalisons ainsi la troisième condition que nous avons énoncée précédemment, lorsque nous avons parlé des machines d'extraction en général.

Exemples de machines Guinotte. — Nous avons vu actuellement tout ce qui a trait à l'appareil distributeur de M. Guinotte. Je vais donner comme complément la description plus ou moins sommaire de quelques-unes de ces machines, dont j'ai eu l'occasion de voir plusieurs, et dont l'étude m'a inspiré l'idée de ce travail. Ces descriptions

seront en quelque sorte les pièces justificatives de l'exposé qui précède. Elles serviront en même temps à faire remarquer quelques dispositions spéciales et quelques variantes intéressantes.

Machine du puits Tuhan à Kladno (Bohême). — Les fig. 13 et 14 représentent le mécanisme distributeur de cette machine avec les diverses cotes nécessaires pour en construire le diagramme.

OM (fig. 14) est la manivelle motrice;
OD l'excentrique de distribution marche avant;
OE l'excentrique de détente.

Le point *d* du levier *fl* se meut de la même manière que le tiroir principal. C'est donc OD' qui conduit le point *d* dans son mouvement. D'autre part OE donne son mouvement au point *e* du levier *ek*. Le point *k* de ce levier se mouvra comme s'il était actionné par l'excentrique OK opposé à OE et tel que

$$\frac{OK}{OE} = \frac{k\varphi}{e\varphi} = \frac{300}{185}$$

OE étant égal à 0^m,063, OK sera égal à 0^m,102. Mais le point *l* participe au mouvement du point *k*; nous connaissons donc le mouvement de deux des points *l* et *d* de la coulisse droite *fl*: nous obtiendrons celui du troisième point *f*, en prenant sur la corde KD des excentriques OD, OK, un point F, tel que

$$\frac{DF}{KD} = \frac{df}{ld} = \frac{300}{480}$$

Or, $KD = \sqrt{(102 + 28)^2 + 60^2} - 28^2 = 140$ millimètres,
on en tire $FD = 87,5$ millimètres.

La coulisse de détente est mue d'une part par OE, d'autre part son point le plus élevé se meut comme *f*, donc le lieu des centres des excentriques fictifs aptes à conduire le cou-

lisseau dans son mouvement absolu est la droite FE. On en déduira la droite lieu des centres des excentriques fictifs aptes à conduire le taquet dans son mouvement relatif.

La symétrique de cette dernière droite par rapport à OY sera le lieu des extrémités des diamètres des cercles polaires relatifs dans le diagramme de Zeuner. On verrait ainsi que cette dernière droite est tangente au plus grand des deux cercles qui ont pour rayons les deux valeurs de γ . Je n'entre pas dans le détail de cette construction, qui est actuellement connue.

Machine du puits Pruhon à Kladno. — Cette machine est construite comme la précédente, et tout ce qui s'applique à celle-là peut se dire de celle-ci. Cependant ayant eu la faculté d'étudier à fond l'extraction au puits Pruhon, je saisis cette occasion pour répondre, chiffres en main, à une objection que l'on fait quelquefois aux machines à détente variable automatique à câble plat, savoir : que l'emploi simultané des bobines et de la détente variable est un pléonasme, et qu'il est absolument inutile de recourir à la détente pour obtenir ce que le câble plat seul est capable de donner avec une approximation suffisante.

En posant cette objection, on suppose implicitement que la meilleure valeur du rayon moyen d'enroulement, celle que l'on obtient à l'aide de la formule de la page 41, est non-seulement toujours admissible, mais encore appliquée à toutes les bobines. C'est là que gît l'erreur, et, en ce qui concerne le puits Pruhon en particulier, je commencerai par faire voir que la solution de la régularisation des moments par bobines seules est inapplicable.

La formule qui donne la meilleure valeur du rayon moyen d'enroulement est :

$$\rho = \sqrt{\frac{eh}{4\pi} \left[\frac{P + 2P_1 + ph}{2ph} + \sqrt{\frac{(P + 2P_1 + ph)^2}{(2ph)^2} + \frac{1}{8}} \right]}$$

Les divers éléments de l'extraction au puits Pruhon sont les suivants :

$$P = 1100^k$$

$$P_1 = 1500^k$$

$$p = 4^k, 500$$

$$h = 265^m$$

$$e = 0^m, 0154$$

On en conclut à l'aide de la formule que la meilleure valeur de ρ est :

$$\rho = 1^m, 13$$

Or le nombre de tours, dans ces conditions, est de :

$$\frac{h}{2\pi\rho} = 37$$

$$2N = 37$$

et $N = 18$ et $1/2$

La valeur du rayon d'enroulement minimum est donnée par la formule :

$$r = \rho - Ne \\ = 0,88$$

Cette dernière dimension est manifestement trop petite pour un câble métallique, surtout lorsque le câble est en acier.

L'expression générale de ρ peut s'écrire :

$$\rho = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{e}{\pi} \left[\frac{P + 2P_1}{2p} + \frac{h}{2} + \sqrt{\left(\frac{P + 2P_1}{2p} + \frac{h}{2} \right)^2 + \frac{h^2}{8}} \right]}$$

Il est clair que ρ augmente lorsque h , e , P , et P_1 augmentent et lorsque p diminue.

Eu égard à la sécurité, on ne saurait trop diminuer p .

Lorsqu'au contraire h , e , P ou P_1 augmentent, il faut par le fait même augmenter p , qui par là détruit la tendance que ces quantités auraient à faire grandir le rayon moyen.

En partant donc de l'exemple de Pruhon qui est assurément dans de bonnes conditions moyennes, on voit qu'il ne sera pas souvent facile d'enrouler les câbles de manière à leur faire donner toute la régularisation dont ils sont théoriquement susceptibles.

Mais, dira-t-on alors, pourquoi, du moment que la régularisation complète par câbles plats et bobines est impossible, ne revient-on pas aux tambours et aux câbles ronds, lesquels sont moins chers et auxquels on pourra adapter une excellente régularisation par détente seule? La raison est bien simple : sans bobines on arriverait le plus souvent à avoir des moments négatifs, ce qui amènerait la machine à travailler à contre-vapeur : chose nuisible et que d'ailleurs l'appareil automoteur est impuissant à réaliser. La bobine a pour effet, non de régulariser les moments, mais de les maintenir toujours positifs. C'est à cette dernière condition seulement que la détente Guinotte peut être employée (*).

Il est, du reste, regrettable qu'on ne puisse toujours, qu'on ne puisse même que rarement employer la meilleure valeur de ρ donnée par les formules qui précèdent. Le coefficient B de n^3 dans l'équation de la courbe (voir page 41) est tellement faible que la compensation se ferait d'une manière presque absolue, et cette circonstance sim-

(*) Tout ce qui précède ne s'applique qu'au cas où le service de l'extraction se fait toujours au même étage. Au puits Adalbert de Příbram, on n'a pu employer le câble plat à cause de la grande profondeur, et les tambours coniques avec câble rond ont dû être éliminés par suite de la nécessité où l'on se trouve d'extraire à de nombreux étages intermédiaires. C'est pour la même raison qu'on a dû supprimer l'appareil automatique pour la variation de la détente.

plifierait beaucoup l'installation des machines. Ainsi au puits Pruhon où l'on a adopté les valeurs suivantes :

$$\rho = 1^m,83$$

$$\text{d'où} \quad 2N = 22 \quad (\text{ma propre observation a donné } 23)$$

$$\text{et} \quad r = 1^m,67$$

l'équation de la courbe des moments est :

$$M = P\rho - 114n - 0,00496n^3,$$

où l'on pourrait sans inconvénient négliger le dernier terme.

La valeur du moment initial est de	3552,128
Celle du moment moyen	2013,000
Celle du moment final	695,872

Machine du puits Sainte-Henriette à Maniémont (Belgique). — C'est une machine d'extraction verticale. Le mécanisme distributeur est analogue au précédent, sauf que pour équilibrer les bielles qui sont verticales on leur a adjoind des contre-poids π , π' (fig. 16). Les lumières d'admission ne sont plus uniques ; elles sont fractionnées, ce qui réduit la course des tiroirs, les frottements et le laminage. Les fig. 15 et 16 donnent les principales dimensions de cette distribution que l'on étudiera aussi facilement que la précédente.

Le mécanisme distributeur de *la machine du puits n° 5 à Bascoup* ne diffère du précédent que par les dimensions. Cette machine, montée en 1875, se distingue des autres machines citées en ce qu'elle actionne, non des bobines, mais des tambours cylindriques autour desquels s'enroulent des câbles ronds.

La fig. 1, Pl. III, indique la disposition de l'appareil distributeur d'une machine récemment construite par M. Retau à

Passy. Cette machine est remarquable par sa bonne exécution et les conditions très-satisfaisantes dans lesquelles elle fonctionne depuis son installation, qui date à peine de deux ans. Elle a été décrite dans la *Revue industrielle* d'Armengaud (novembre 1875) à laquelle nous renvoyons. La disposition des excentriques ne diffère guère de celle que nous avons indiquée *fig. 8*, Pl. II.

Machine du puits Saint-Joseph à Ronchamp. — La machine du puits Saint-Joseph jouit de cette particularité curieuse qu'elle fait simultanément le service d'extraction à deux étages. On s'est arrangé de manière que l'une des cages serve exclusivement à l'étage supérieur, l'autre à l'étage inférieur. On a été conduit ainsi à employer des rayons d'enroulement différents pour chaque bobine. Il s'ensuit aussi que les deux sabres de l'appareil de détente sont profilés différemment.

Les *fig. 7*, Pl. II, et 2, Pl. III, représentent le mécanisme de cette machine avec toutes les cotes nécessaires pour en construire le diagramme. Celui-ci est représenté *fig. 3*, Pl. III. On remarque de suite que la règle de Guinotte est observée, et que la droite ligne des centres cc' , perpendiculaire sur OQ , est à une distance de O égale à $\frac{y_1}{2}$, y_1 correspondant à l'admission de la vapeur sur la face droite du piston.

La *fig. 4* est l'épure complète du mouvement à l'échelle de $0^m,50$ pour mètre. Je l'ai reproduite d'après les documents que l'administration des houillères de Ronchamp a bien voulu me communiquer.

La courbe pleine représente les écarts du tiroir principal, en prenant pour abscisses le déplacement du piston à partir de l'un des points morts. Cette courbe n'est autre chose que l'ellipse du tiroir, courbe en œuf, ou diagramme de Fauveau.

Les lignes zz et $z'z'$ sont les lignes de recouvrement; pour une position quelconque du piston, l'ouverture de la

lumière est égale à la fraction de l'ordonnée comprise entre la courbe et la ligne de recouvrement. On prendra l'ordonnée positive ou négative selon que le piston se meut vers la droite ou vers la gauche.

Les courbes tracées en traits mixtes (— · — · — ·) indiquent les écarts relatifs du taquet pour la cylindrée de gauche à droite seulement. Chaque courbe correspond à un autre degré de détente. Les ordonnées de ces courbes ne sont pas comptées à partir de l'axe des x , mais à partir d'un axe parallèle non tracé sur la figure, mais tel que la ligne de recouvrement z corresponde à un écart relatif égal à y .

De cette manière, les intersections de la droite zz avec lesdites courbes indiqueront les positions occupées par le piston au moment où l'admission est coupée, et cela selon les diverses positions du coulisseau dans la coulisse.

Les courbes tracées en pointillé (· · · · ·) représentent les mêmes écarts relatifs pour la cylindrée de droite à gauche. Les courbes affectées des mêmes lettres correspondent à une même position du coulisseau. Toutes ces courbes sont théoriquement des ellipses; elles en diffèrent notablement pour les motifs divers que nous avons déjà exposés.

Les résultats de l'épure ont été consignés dans le tableau suivant :

COURBES.	DEGRÉ D'ADMISSION avant.	DEGRÉ D'ADMISSION avant.
A	0,10	0,10
B	0,1975	0,202
C	0,296	0,303
D	0,395	0,404
E	0,495	0,502
F	0,600	0,600
G	0,696	0,696
H	0,785	0,815
I	0,920	0,930

Je passerai actuellement à l'étude des modifications que l'on a fait subir à l'invention de M. Guinotte, et commencerai par discuter la valeur à donner à l'élément y .

De la manière de déterminer l'élément y . — On a pu remarquer qu'étant donnés les éléments du tiroir principal et la quantité y , la distribution de M. Guinotte est, à peu de chose près, déterminée. Cette quantité y n'est autre chose que l'élément du taquet correspondant au recouvrement extérieur du tiroir. Tel que l'emploie M. Guinotte, c'est plutôt un *découvrement*.

Nous savons choisir les éléments du tiroir principal. Quant à y , nous avons réservé jusqu'à présent l'exposé des considérations qui doivent servir à le déterminer. M. Guinotte, en effet, ne s'est pas prononcé sur cette question, et les résultats de l'étude qui va suivre, dus à M. Pichault, sont en désaccord avec la valeur que M. Guinotte donne en général à cet élément.

La fermeture des lumières du tiroir pour un degré de détente déterminé est représentée géométriquement par l'intersection de deux cercles : le cercle polaire relatif correspondant à ce degré de détente et le cercle de rayon y . Il est évident que la vitesse de cette fermeture, toutes choses égales d'ailleurs, est d'autant plus grande que y est plus petit. Il semble donc naturel, au point de vue du laminage de la vapeur, de prendre $y = 0$, à la condition toutefois que ce choix ne favorise pas la réouverture des lumières du tiroir (*fig. 6, Pl. III*).

Or, cette réouverture ne peut se produire que lorsque $O\lambda$ et $O\lambda'$ (*fig. 1, Pl. II*) se trouvent du même côté par rapport à OM'_ω , position de la manivelle pour laquelle la lumière principale est fermée. En prenant $y = 0$, λ et λ' se confondent; $O\lambda$ et $O\lambda'$ sont par suite à 180° l'un de l'autre, et dès lors toute possibilité de réouverture des lumières est écartée, quels que soient d'ailleurs le degré de la détente et la direction que l'on donne à la ligne des centres des

cercles polaires relatifs. Pour un degré de détente déterminé, le cercle polaire relatif est tangent en O à la direction de la manivelle pour laquelle l'admission est coupée, et le rayon de ce cercle ne dépend que de la largeur à laisser au passage de la vapeur.

Afin de nous bien rendre compte des avantages dus à ce choix de y , nous avons comparé sur le diagramme les effets obtenus pour $y = 0$ et pour une valeur de y égale à la lumière du tiroir, valeur qui, on l'a vu, diffère peu de celle que M. Guinotte lui assigne en général.

Nous avons supposé au tiroir de distribution les éléments admis dans les précédentes études.

Lumière.	0,64
Recouvrement extérieur.	0,01
Recouvrement intérieur.	0,00
Avance à l'admission.	0,004
Excentricité	0,05

Voici maintenant les résultats de cette comparaison pour une admission de $\frac{8}{10}$:

$y = 0$. — La vitesse de fermeture des lumières est maxima, le diamètre du cercle polaire peut descendre à $0^m,04$ sans inconvénient. — On augmente un peu le frottement par suite des dimensions plus grandes que l'on donne au taquet.

$y = 4$ centimètres. — L'avantage est de réduire les dimensions du taquet et, par suite, les frottements. Pour un diamètre polaire relatif de 4 centimètres, il y a encore réouverture. En prenant ce diamètre de 5 centimètres, la vitesse de fermeture est encore bien faible. Le déplacement relatif du taquet et, par suite, les frottements augmentent en raison directe de ce diamètre.

En contruisant un autre diagramme pour le cas d'une

admission faible, $\frac{1}{10}$ par exemple, on arriverait de même aux résultats suivants :

$y = 0$. — La vitesse de fermeture est toujours maxima. Avec un cercle polaire de 4 centimètres de diamètre l'ouverture des lumières est peut-être un peu trop réduite.
 $y = -4$ centimètres. — Il y a encore réouverture pour un cercle polaire de 0^m,07 de diamètre.

Nous ne parlons pas ici du cas où y aurait une valeur positive. On augmenterait ainsi inutilement à la fois le laminage de la vapeur, le déplacement relatif et les dimensions du taquet.

Il est donc bien évident que c'est pour une valeur nulle de y que la distribution de la vapeur se fera dans les conditions les plus avantageuses. Le seul inconvénient de cette solution consiste en ce que la longueur du taquet étant amplifiée, le frottement augmente. Mais cette augmentation de la longueur du taquet n'est pas aussi forte qu'on pourrait le croire tout d'abord. Nous avons vu que dans le cas où la quantité y est égale à la lumière du tiroir, la longueur du taquet ne peut être inférieure au diamètre du cercle polaire relatif le plus grand.

En admettant les dimensions de la *fig. 1*, Pl. II, nous ne pourrions guère prendre le taquet plus petit que de 10 centimètres, bien qu'on puisse incliner davantage les lumières du tiroir principal. Si maintenant, sans rien changer au tiroir principal, nous rendons y nul, la longueur du taquet sera portée à 18 centimètres et les frottements seront presque doublés sur le dos du tiroir.

Or soient (*fig. 6*, Pl. III) :

- a la largeur des lumières du tiroir ;
- l la distance des bords intérieurs de ces deux lumières ;
- d le plus grand diamètre polaire relatif du diagramme de M. Guinotte, lorsque $y = a$;
- d' le plus grand diamètre polaire relatif dans le cas où y est nul

On sait que

$$d' < d.$$

Pour éviter la réintroduction de la vapeur par la partie postérieure du taquet dans le cas où y est égal à a , il faut que l'on ait :

$$l > d.$$

Dans l'hypothèse de $y = 0$, il faut au contraire que

$$l + a > d'$$

ou que

$$l > d' - a.$$

Or d' étant plus petit que d , $d' - a$ le sera à plus forte raison, et dans le cas où l'on prendra $y = 0$, on pourra de beaucoup réduire l et incliner plus fortement sur l'horizontale les lumières du tiroir principal.

De cette manière le taquet, qui tout à l'heure avait 18 centimètres de long, pourra parfaitement être réduit à 15 centimètres et moins.

Du reste, ces calculs n'ont pas une signification absolue, attendu que dans la pratique on a l'habitude d'évider les surfaces frottantes sur le dos du tiroir principal, de sorte que la vapeur étant admise en dessous du taquet, la pression qu'il exerce sur le tiroir est bien diminuée.

De tout ceci il résulte que le déchet par frottements dû aux dimensions du taquet est peu différent de ce qu'il était dans le cas où l'on prenait $y = a$. D'autre part, ce déchet est encore réduit et même absolument compensé par ce fait que les diamètres des cercles polaires relatifs sont plus petits dans l'hypothèse de $y = 0$.

La seule objection que l'on puisse faire à cette solution de M. Pichault tombe donc d'elle-même, lors même qu'on ne tiendrait pas compte du grand avantage qu'elle nous donne de supprimer entièrement le laminage, lequel fait

perdre à la vapeur une fraction si considérable du travail dont elle est capable.

Il va de soi que la règle de Guinotte ne pourra plus être appliquée dans la détermination de la ligne des centres des cercles polaires relatifs, dans l'hypothèse de $y = 0$. Cette règle suppose en effet que le taquet étant dans sa position moyenne, les lumières du tiroir sont entièrement dégagées. En l'appliquant ici, nous arriverions à faire passer la ligne des O centres au point et à employer des cercles polaires relatifs de rayon nul, ce qui est inadmissible.

Mais nous avons toute latitude de choisir cette ligne en dehors de ce cas spécial, pourvu que le cercle polaire du plus petit diamètre soit encore assez grand pour laisser à la vapeur un passage suffisant. Cette considération servira à fixer la distance de la ligne des centres au point O. Quant à sa direction, on pourra par exemple la prendre telle que les diamètres des cercles polaires relatifs extrêmes soient égaux. Cette solution sera la meilleure lorsque la machine devra fonctionner indifféremment avec toute valeur de la détente. Mais si, dans les conditions normales, la machine doit marcher de préférence avec un degré de détente déterminé, on devra nécessairement s'arranger de manière que, pour ce degré, la distribution réunisse le plus grand nombre d'avantages.

Taquet à orifice central. — M. Pichault propose une autre modification à apporter au mécanisme distributeur de M. Guinotte. Elle consiste à remplacer le taquet de détente par le taquet à orifice central représenté *fig. 7*, Pl. III. La fermeture des lumières du tiroir se fera ici par un mouvement du taquet inverse du mouvement que nous lui avons donné précédemment. En supposant toujours que cette fermeture se fasse au moment où le taquet atteint sa position moyenne, nous prendrons pour centres des cercles polaires relatifs les symétriques par rapport à O des cen-

tres que nous avons déterminés dans l'hypothèse d'un taquet ordinaire à découvement nul.

Supposons par exemple qu'il s'agisse de couper l'admission de la vapeur au moment où la manivelle occupe la position OM_λ (*fig. 5*). Nous élèverons sur OM_λ une perpendiculaire Ol , mais au lieu de porter le diamètre du cercle polaire relatif de O en l comme précédemment, nous le porterons de O en l' , l' étant symétrique de l par rapport à O. La construction se termine, du reste, comme précédemment. On arrive ainsi à voir que OE' est l'excentrique réel ou fictif qui est apte à donner au taquet son mouvement absolu.

Si nous avons employé le taquet ordinaire à découvement nul, c'est OE que nous aurions dû prendre. Mais $OE = Dh$, de sorte que les deux excentriques sont les deux diagonales d'un même parallélogramme. Il est facile de s'assurer que tant que

$$\widehat{MOM}_\lambda < \widehat{MOd},$$

OE' sera plus grand que OE. Au contraire,

si

$$\widehat{MOM}_\lambda > \widehat{MOd},$$

OE' sera plus petit que OE. Or OE et OE' mesurent les déplacements absolus du taquet; ils donnent donc aussi la mesure des frottements qui se produisent aux presse-étoupes, aux articulations, aux excentriques, etc. Il y aura par conséquent avantage à prendre l'excentrique le plus petit.

En général, la détente ne commence que lorsque la manivelle a dépassé la position Od ; l'avantage semble donc appartenir à l'orifice central.

La question peut cependant être discutée. En effet, la différence entre OE et OE' n'est pas toujours bien considérable. D'autre part, si le tiroir à orifice central réalise une économie de frottement dans les presse-étoupes, c'est aux

dépens de ceux qu'il produit lui-même en se mouvant sur le tiroir principal.

Soit encore d la valeur du plus grand diamètre polaire relatif. Cette valeur sera la même, quel que soit le genre de taquet que l'on adopte, pourvu que dans chacun d'eux on ait $y = 0$.

Soient aussi (*fig. 7, Pl. III*):

- l la distance des bords internes des deux lumières du tiroir principal;
- a la lumière du tiroir;
- x la longueur à donner à chaque moitié du tiroir à orifice central.

L'admission de vapeur par la partie postérieure du tiroir à orifice central aura lieu par un déplacement du tiroir égal à $x - a$. On doit donc avoir :

$$\begin{aligned} x - a &> d, \\ x &> a + d. \end{aligned}$$

Précédemment, nous avons trouvé que le taquet ordinaire à découverture nul devait satisfaire l'inégalité :

$$\begin{aligned} l &> d - a, \\ l + 2a &> d + a, \\ x &> a + d. \end{aligned} \quad (\text{fig. 6})$$

On voit que la dimension minima du taquet est la même dans les deux cas. Cela devait être. Mais le taquet à orifice central se compose de deux parties dont l'ensemble a une surface double de celle du taquet ordinaire à découverture nul.

Les pertes dues au frottement du taquet sur le tiroir principal sont donc théoriquement doublées, et en pratique ce rapport ne sera pas bien éloigné de la vérité.

Il va sans dire que l'emploi du tiroir à orifice central doit être absolument proscrit dans les machines fonction-

nant à une détente notablement supérieure à la moitié de la course du piston.

Cas particulier où la coulisse de détente oscille autour d'un point fixe. — Ce cas remarquable pourra être réalisé toutes les fois qu'on pourra faire passer par le point O le lieu des centres des excentriques aptes à conduire le taquet dans son mouvement absolu.

Nous savons que si Ol (*fig. 8*) est le diamètre du cercle polaire relatif, Od celui du tiroir principal, le symétrique OE de Oe par rapport à OY sera l'excentrique absolu correspondant. Pour que le lieu de E passe par O , il faut que celui de e passe par ce point; il est nécessaire par suite que l se meuve sur une parallèle à Oe dont la distance à Oe soit égale et de sens contraire à la distance du point d à la même droite.

En d'autres termes, il faut et il suffit que par les trois points O , l et d on puisse mener trois droites équidistantes, parallèles à la ligne des centres et que O se trouve sur celle du milieu. Ce cas spécial n'avait pas échappé à M. Guinotte. Supposons que l'angle de calage de l'excentrique de distribution soit assez fort pour que le cercle de recouvrement enveloppe le cercle de rayon y (*fig. 9*). Le rayon OQ auquel la ligne des centres devra être perpendiculaire, pourra très-bien passer par R à l'intersection du cercle polaire principal et du cercle y .

dR sera alors parallèle à la ligne des centres et en prenant celle-ci à une distance de O égale à $\frac{y}{2}$, r sera l'extrémité d'un diamètre de cercle polaire relatif. On voit que par les trois points O , r , et d on pourra mener trois parallèles à la ligne des centres; elles seront équidistantes et O se trouvera sur celle du milieu.

Il est donc possible de construire une distribution à détente variable dans laquelle la coulisse de détente est mobile autour d'un point fixe. Mais cette distribution

ne pourra se faire que dans de fort mauvaises conditions. Aussi M. Guinotte ne la cite-il qu'à titre de curiosité.

Supposons $y = 0$, et soit OI le diamètre de l'un des cercles polaires relatifs (*fig. 8*). Menons par d , O et l trois parallèles équidistantes, leur direction sera celle à donner à la ligne des centres pour que le lieu des centres des excentriques passe par le point O .

La *fig. 8* montre clairement que dans une pareille distribution on ne peut obtenir que de fortes détentés. Les détentés faibles et l'admission complète sont entièrement sacrifiées.

C'est dans l'emploi de l'orifice central que nous trouverons la meilleure solution de ce cas particulier. En menant par dO , et l' (*fig. 8*) trois parallèles équidistantes, leur direction sera presque verticale. Supposons que la ligne des centres soit verticale absolument. Les détentés fortes seront un peu moins favorisées, mais on pourra encore fort bien réduire l'admission à $\frac{1}{10}$, ce qui

est bien suffisant dans la pratique. Le lieu des centres des excentriques aptes à conduire le taquet à orifice central se confondra alors avec OY .

Cette circonstance, qu'il sera aisé de réaliser, permet de réduire considérablement le nombre des pièces du mécanisme distributeur.

Joignons MD (*fig. 10*) et conduisons une coulisse mobile autour d'un point fixe par l'excentrique OF , dont le centre F se trouve sur MD . Cette coulisse sera la coulisse de détente.

Pour obtenir le mouvement du tiroir principal, nous servirons d'un levier $mf d$ actionné en m par la tige du piston, et en f par un coulisseau qui est toujours à fond dans la coulisse de détente, laquelle est, à cet effet, double comme celle de Polonceau.

Le point d de ce levier choisi de manière à satisfaire la proportion :

$$\frac{fd}{mf} = \frac{FD}{MF}$$

sera apte à conduire la tige du tiroir principal. On renversera le sens de la marche en transportant le coulisseau de distribution γ à l'autre extrémité de la coulisse. Nous pouvons remarquer aussi que lorsque le coulisseau de détente γ' se meut de φ en φ' , l'admission variera de 0 à 1 pour l'un des sens de la marche, de 1 à 0, au contraire, pour l'autre sens de rotation.

Cette solution, indiquée par M. Pichault, est remarquable par la simplicité de sa disposition cinématique. Avec une seule coulisse et un seul excentrique, nous obtenons une distribution presque aussi avantageuse que les meilleures que nous ayons étudiées, car il faut tenir compte des pertes que les articulations nombreuses produisent quant au frottement et à l'entretien.

Application du système de M. Guinotte aux locomotives.

— Nous avons déjà fait remarquer précédemment que la solution de M. Guinotte était applicable aux locomotives. Les *fig. 11* et *12* donnent une idée de la distribution de la locomotive de Marcinelle et Couillet exposée à Vienne en 1875. Les lignes pleines représentent plus particulièrement le mécanisme distributeur. — Les lignes pointillées représentent les pièces dont l'ensemble constitue l'appareil servant à faire varier la détente.

Le diagramme de cette machine se construirait avec la même facilité que ceux de Klado ou de Ronchamp.

Quelles que soient les qualités du système de détente de M. Guinotte, il est bien peu probable qu'il ait beaucoup d'avenir dans ce genre de machines, déjà fort compliquées par elles-mêmes et dans lesquelles on préfère employer un appareil distributeur moins économique en principe, mais

plus simple, et par suite moins sujet aux dislocations, et d'un entretien plus facile.

Cette considération disparaît lorsqu'il s'agit de machines d'extraction qui sont des machines fixes. L'étude sommaire que nous avons faite antérieurement des autres systèmes de distribution indique suffisamment leur infériorité au point de vue économique. Aucun d'entre eux ne fait varier la détente d'une manière continue avec la résistance à vaincre; il en résulte nécessairement une certaine irrégularité dans la marche de la machine. A ce point de vue l'appareil Guinotte est un régulateur qui établit de lui-même, à chaque instant et avec une grande précision, un équilibre constant entre la puissance et la résistance.

La seule objection que l'on puisse faire à ce système est fondée sur la grande quantité de tiges et de bielles en mouvement. Il est certain que ces pièces absorbent du travail par les frottements des articulations, et qu'elles entraînent des frais de graissage et d'entretien relativement considérables. Mais en réalité elles n'augmentent pas les chances d'arrêt de la machine, et comme elles fonctionnent toutes à l'extérieur, sous les yeux mêmes du mécanicien, les accidents imprévus sont peu à craindre.

« Il importe peu, dit M. Guinotte, de placer quelques
« leviers de plus à l'extérieur du cylindre: il importe
« beaucoup de ne pas multiplier dans la chapelle les or-
« ganes de distribution, de ne pas multiplier surtout des
« organes tels que tiroirs, soupapes, tables et sièges dont
« l'état doit être si parfait pour obtenir les résultats sur
« lesquels on compte. Quels que soient les soins qui
« aient présidé à leur construction, cet état parfait, réalisé
« peut-être à l'origine, ne tardera pas à laisser à désirer. »

Certainement le dernier mot n'a pas été dit sur ce genre de distribution; mais il est certain aussi que les recherches de M. Guinotte ont abouti à un résultat économique que l'on n'avait pas encore atteint jusqu'ici par l'emploi des

tiroirs, et il y a lieu de croire que cette invention a fait faire à l'art des mines un progrès réel. La preuve en est que diverses compagnies houillères commencent à faire usage de machines à détente variable de Guinotte.

D'autre part, par l'énoncé de ses théorèmes, M. Guinotte est arrivé à cet autre résultat, qui lui fait non moins d'honneur, d'avoir établi une théorie géométrique de la composition des excentriques et des mouvements des tiroirs, applicable à toutes les distributions auxquelles participent ces organes.

NOTICE

SUR

LA MINE DE PLOMB ARGENTIFÈRE D'ANCY

(1495 à 1512)

PAR M. DEBOMBOURG.

On possède, croyons-nous, assez peu de documents sur l'exploitation des mines en France pendant le moyen âge. Aussi, un heureux hasard ayant fait tomber entre nos mains la copie d'un ancien registre ou livre de compte du rendement d'une mine existant, en 1495, à Ancy, canton de Tarare, nous avons pensé qu'il serait intéressant d'en publier au moins quelques extraits.

Cette copie, sur papier fort, de l'écriture du xv^e siècle, renferme 82 pages in-quarto. Sur la première page, servant de couverture, on lit en titre :

« De 1495 à 1512. Journal ou registre des mines d'argent de la montagne de Suchel, paroisse d'Oncy, dépendant de Savigny. »

Tout au haut de la deuxième page on trouve ces mots : « Ce journal commence en juillet 1495 et finit en juin 1512. Il n'y est parlé que de mines d'argent et nulle part de mines d'or. »

Disons d'abord que la mine d'Ancy n'était qu'une mine de plomb argentifère, comme on en exploite encore près de Beaujeu, et que l'argent pur ne s'y trouvait pas.

Lerôle métallurgique du Lyonnais est bien terne, comparé à celui des mines de plomb argentifère de la Bretagne, des Vosges, des Cévennes et des Pyrénées. Néanmoins, on

a extrait de l'argent des montagnes du Lyonnais à une époque fort reculée. Il est prouvé que Hugues Jossard découvrit les mines de plomb de Brullioles et de Soucieux, près de Saint-Bel, au xv^e siècle et que, pour exploiter cette découverte, il s'associa avec un argentier nommé Jacquemin, qui ne serait autre, croit-on, que le célèbre Jacques Cœur. Les redevances exigées par le seigneur de Chamousset et le prieur de Saint-Irénée de Lyon les forcèrent bientôt à abandonner la mine de Brullioles. Le 4 septembre 1403, Alix d'Épinac, femme de Guillaume d'Albon, chevalier, vendit à Hugues Jossard tous les filons d'argent, de plomb et autres métaux découverts ou à découvrir dans les terres situées au Puy de Montchanin, mandement de Montrotier, et, par un second acte, passé le 28 octobre suivant, le nouveau possesseur remit à Étienne d'Épinac, prieur de Montrotier, tant pour lui que pour sa sœur Alix, tous ces filons, attendu que le travail y était très-périlleux. Les travaux furent repris plus tard à la suite de nouveaux essais. On trouve sur le testament de Thomas Rossignol, clerc, greffier des élus et notaire signataire de l'expédition de la remise des mines, les noms des trois associés à cette œuvre hardie et sans doute profitable. Le testateur mentionne simplement, et sans qu'on puisse être renseigné plus utilement, une créance *ad opus magistrorum Hugonis Jossardi, Jearandi Frepperi et dicti testatoris*. L'âme de cette association fut Hugues Jossard, qui en retira de gros bénéfices.

Jean Jossard, fils de Hugues, continua l'œuvre fructueuse de l'exploitation des mines. Dans son testament du 3 novembre 1464, Jean Jossard, chevalier, seigneur de Châtillon d'Azergues, légua à ses deux filles le revenu de ses mines de *Come* et du *Mont de Pampalien*. C'est sans doute ce personnage qui fut l'associé de Jacques Cœur, lequel avait des intérêts dans les mines de *Come* et de *Pampalien*, citées sur le compte de ses biens confisqués. Il est possible

aussi que Jean Jossard ait acquis ces mines des héritiers de l'argentier, auxquels elles avaient été restituées.

Entre la noblesse et la haute industrie, il n'y avait pas incompatibilité au XIV^e siècle; car nous voyons les familles de Raybé, d'Albon, d'Épinac, de Suze, possédant et faisant valoir des mines avec les Moissard, les Chouchard, les La Mare, les Freppier, les Rossignol, familles bourgeoises du même temps. Cette liste est donnée par le savant et consciencieux M. Vital de Valous, qui a publié l'*Anoblissement d'un mineur lyonnais en 1398* (Lyon, 1872), lequel est notre Hugues Jossard; nous y avons puisé tout ce qui précède et nous ajouterons, d'après notre copie de la mine de Suchel, les noms de François d'Albon, abbé de Savigny, du doyen de Lanay, Claude Gageyron, des nobles frères Mathieu, Guillaume et Jehan Baronnat, de Claude de Saint-Prévorien de Montrotier, de Claude Blanc et de Lancelot Reynard, directeur des mines de Suchel, à Ancy, et de Pereréa, à Montrotier.

Revenons maintenant à l'analyse de notre copiste du vieux registre des mines d'Ancy de 1495 à 1512. Sur la couverture de ce registre, en dedans, on trouve les notes suivantes :

- « Le plomb à 31^e le quintal vault la livre. 4 deniers.
- « A 30^e le quintal vault la livre. 3 deniers obole.
- « A deux livres vault la livre. 5 deniers obole et demi.

« Aujourd'hui, 17^{me} de septembre, receu sur la mine du Blanc cent livres, comprises trente livres de M. de Saint-Jehan.

- « Le marc d'argent à la Monnoye vault 11 livres 15 deniers.
- « L'onze vault. 22 gros.
- « Le denier vault. 12 deniers obole.
- « Les douze deniers valent. demy-onze.

« Ce journal est coté B sur la première page, ce qui fait

croire qu'il étoit le second et qu'il y en avoit peut-être d'autres. Ce registre est déchiré à la fin et il y manque plusieurs feuillets. Les mines dont il s'agit dans le journal sont d'une montagne appelée de Suchel, dans la paroisse d'Oncieu ou Onci... Sur la fin on y trouve des mines appelées de Péréréa. Il paroît que sur ces dernières les frères Baronnat, famille autrefois connue à Lyon, y avoient des droits.

« Ces mines se régissoient par une compagnie dont la composition n'est pas bien connue par les actes jusqu'à ceux rappelés ci-dessus. Il paroît que l'abbé de Savigny étoit un des principaux avec quelques autres personnes, comme les sieurs Baronnat pour les mines de Péréréa. Ils avoient un régisseur et receveur. Un nommé Lancelot Reynard, marchand de Montrotier, est nommé dans les actes rappelés ci-dessus. Cependant l'abbé de Savigny étoit chargé de payer les prix-facteurs. La compagnie prélevoit tantôt deux demy-dixièmes, tantôt deux dixièmes, tantôt trois dixièmes, et jusqu'à quatre sur la fin de ce journal.

« Le Roy percevoit toujours un demy x^{me} ou le sou pour livre, tant sur l'argent que sur le plomb. L'abbé de Savigny, outre ses droits comme membre de la compagnie, percevoit le même droit que le Roy; excepté que jusqu'à la fin de may 1498 sur son demi-dixième il étoit prélevé pour le Roy un demy-dixième. A cette époque l'abbé de Savigny obtint la suppression de ce droit du Roy.

« Les ouvriers exploitans la mine d'argent percevoient le reste du produit, sauf que le plomb des dits mineurs étoit revendu à la compagnie au prix de 30 s. le quintal et qu'elle le vendoit à 31 s. et demy ou un ducat et ailleurs à 50 sous. »

Ces explications données, le copiste commence la rédaction réelle du journal dont nous donnons le premier compte :

« La mine appelée des Blancs en la montagne du Suchel.

« Sont prix-facteurs en un pays en ladite montagne à deux demi x^{m^e} :

« Jean Humbert autrement Soluc, Lionard, Chiro, Tholin Arnoud, les frères Dufort et leurs consorts.

« De laquelle mine est sorty une piessse d'argent pesant onze marcs 5 onzes et 18 deniers. Laquelle piessse d'argent a esté livrée à la Monnoye par Monsieur le Doyen de Lanay le 23^e jour de juillet 1495 à raison de onze livres 15 deniers par marc. Ainsi monte en argent la dite piessse.
 129 liv. 12 s. 6 deniers.

« De laquelle somme en appartient aux dits prix-facteurs, et rebatu les deux dixièmes de la compagnie, la somme de. 103 liv. 14 s.

« Appartient au Roy pour son demy x^{m^e} de la dite somme de 129 liv. 12 s. 6 deniers argent.
 6 liv. 9 s. 1 denier et maille.

« Appartient à Monsieur de Savigny pour son demy dixième rebatu le demi x^{m^e} du Roy.
 6 liv. 3 s. 1 denier maille et le quart.

« Ainsi reste à la compagnie, rebatu le droit des prix-facteurs et les demi x^{m^e} du Roy et de Monsieur de Savigny, argent. 13 liv. 6 s. 2 deniers et 3/4.

« De laquelle piessse d'argent est issu : Plomb. 42 quintaux.

« Es prix-facteurs rebatu les deux x^{m^e} de la compagnie.
 33 quintaux 60 livres.

« Au Roy pour son demy x^{m^e}, plomb. . . 2 quintaux 15 livres.

« A Monsieur de Savigny pour son demy x^{m^e}, rebatu le demi-dixième du Roy, plomb. 2 quintaux 4 livres 1/4.

« Appartient à la compagnie, rebatu les droiz des prix-facteurs et les deux demi-dixièmes du Roy et de Monsieur de Savigny, plomb. 8 quintaux 40 livres.

« Ainsi monte tout l'argent appartenant es dits prix-facteurs tant de l'argent que du plomb 154 liv. 2 s.

« Lequel argent a été payé es dits prix-facteurs à plusieurs foys par les mains du dit sieur de Savigny. »

Voici un accord passé entre l'abbé de Savigny et la famille Blanc, qui jette quelque jour sur le mode d'association :

« Fait et accordé entre Révérend Père en Dieu Monsieur François d'Albon, abbé de Savigny, d'une part, frère Claude Gageyron, doyen de Lanay, et Claude Blanc tant à son nom que de Claude Blanc et Angelise Blanc, d'une part : ont ensemble fait fin de compte touchant la mine appelée *du Suchel* en laquelle les dites parties sont *consorts ensemble*; et de tout l'argent et plomb qui en est yssu de tous les temps passé jusques à l'onzième jour de décembre l'an courant 1496 : aussi de toutes les mises, dépenses ordinaires et extraordinaires et pour raison des dites mines durant le dit tems ont esté faictes tant pour les dits sieurs que les autres parties, et le tout compté et rebatu a esté accordé entre les dites parties que pour le prouffit de huit cent quarante livres 8 sols et 10 deniers qui sont sortys tant de l'argent que du plomb durant le dit tems à cause des dites mines, en appartient au dit Claude Blanc et ses consorts la somme de 31 livres 15 sols, laquelle somme lui a été payée par le dit sieur à plusieurs fois et au dit sieur de Lanay en appartient du prouffit la somme de 18 livres 3 sols 6 deniers, aussi laquelle somme lui a été payée par le dit sieur de Savigny et le reste appartient au dit sieur de Savigny tant pour son droit de demi-dixième que pour sa part tant de Lyonnard Blanc, et par ce moyen compté et rebatu toute la despense et les demis dixièmes du Roy et de Monsieur de Savigny demeurez quites les dites parties à cause des dites mines l'une envers l'autre. Et promettent les dites parties par leurs foye et serment et suz l'obligation de leurs

biens, tenir, garder et observer et non contrevenir à ce présent compte et pour ce faire se soumettent à toutes cours.

« Fait à St-Bel le 9^{me} jour de février l'an 1496 ès présences de Frère Jacques de Roncherol, prieur cloustrier, et Thomas de Serbue, hostellier, officiers de l'abbaye de Savigny à ce tesmoings requis et appellés et de moy notaire. Signé Genevey. »

Trois ans plus tard un autre règlement de compte intervint entre les parties; nous le citons *in extenso*, attendu qu'il est plus explicite que le précédent :

« Entre Révérend Père en Dieu Frère François d'Albon, abbé de l'abaye de Savigny, d'une part, et Claude Blanc, paroissien d'Ancieu pour ly et ses consorts, d'aultre part : ont entreux fait fin de compte de tout l'argent et plomb qui est yssu et receu des susdites mines de Suchel puis le dernier compte en ça qui fut fait le 9^{me} jour de février l'an 1496 jusques a ce present jour 22 mai 1499, aussi de toutes les dépenses tant ordinaires que extraordinaires taites par cy devant et de tout l'argent que le dit sieur a fourny au dit Blanc pour ly et ses consorts durant le dit temps sur le prouffit des dites mines. En ce présent compte non comprins les mises qui ont esté faites pour les *souffles* (soufflets), l'impetracion du mandement touchant le rabais du demy-dixième du Roy (*) et quelques *fers* et *gresses* que l'on a prins de Picoy, marchand de St-Bel es dites mines. Et se monte le prouffit de l'argent qui est yssu des dites mines durant le dit temps appartenant à la compagnie neuf vingt-cinq livres quinze sols 8 deniers et maille, et est yssu plomb durant le dit temps appartenant du prouffit de la

(*) Le demi-dixième était une surtaxe ajoutée au demi-dixième ordinaire qui revenait au Roi et dont l'abbé de Savigny obtint l'abolition.

compagnie soixante-sept quintaux 68 livres, lequel plomb a esté vendu à raison d'un ducat (31 sols 1/2) par quintal la somme de six vingt-six livres 17 sols 3 deniers, et durant le dit temps est yssu plomb appartenant es prix-facteurs d'icelles mines quatre cents seize quintaux 2 livres et 3/4 de livre, lequel plomb en demoura à la compagnie à raison de 30 sols par quintal; et pour le reste du prouffit à la compagnie 1 sol 1/2 par quintal vendu par la dite compagnie à raison d'un ducat pour argent du prouffit sept vingt seize livres. Ainsi monte tout l'argent tant de l'argent que du plomb quatre cents soixante-huit livres 13 sols. Monte la dépense tant ordinaire que extraordinaire faite par le dit sieur cent onze livres 17 sols 3 deniers. Monte l'argent que le dit sieur a fourny au dit Claude Blanc sur le prouffit de la dite mine appartenant à ly et ses consors soixante-sept livres 5 sols, sur lequel prouffit le dit Claude Blanc et ses consors prennent les troys quarts d'une moytié; et pour ce luy appartient et à ses consors pour les dits troys quarts du prouffit la somme de six vingt-sept livres 16 sols. Et par le fait de ce présent compte demourent quites les dites parties les unes envers les aultres. Donné a St-Bel l'an et jour que dessus ès présence de Maistre Jean Mortier, greffier de l'Arbresle, et de Jean Humbert d'Ancieu et de moy, notaire Genevey.»

Un troisième règlement de compte eut lieu entre l'abbé de Savigny, d'une part, et Claude Blanc, paroissien d'Ancy, pour lui et Léonard et Clair Blanc, ses frères, d'autre part.

« Ont fait compte de tout l'argent qui est yssu et venus des dites mines du Suchel et *martinetz* d'icelle; puis le dernier compte fait entre le sieur de Savigny et Blanc, le 22 de may l'an 1499, jusqu'à ce présent jour 5 de septembre 1500. Aussi de toutes les dépenses, mises, tant ordinaires que extraordinaires, lesquelles ont esté faites puy le dit temps en ça comprins l'impetracion du man-

dement de l'affranchissement touchant le demy-dixième, aussy les *wages qui font parvenir es puys* des dites mines et servent à icelles.

Prouffit de l'argent à la compagnie. . .	248 ^l 7 s. tournois.
Plomb appartenant à la compagnie par droit et achat.	268 quintaux.
Prouffit de l'argent et du plomb à la compagnie.	77 ^l 19 ^s 6 ^d
Dépenses divers.	511 ^l 18 ^s 1 d. obole.
Prouffit, tous frais rebatus.	260 ^l 1 ^s 5 ^d

« Et duquel argent en appartient au dit Claude Blanc et ses consors les *troys quarts partyes d'une moytié* et le reste au dit sieur de Savigny.

« Et promettent par leur foy et serement : le dit sieur de Savigny sur le serement accoustumé de *fer à plat* et le dit Claude Blanc sur les saints Évangiles et sur l'obligation de leurs biens de tenir et accomplir le dit accord. Donné à Saint-Bel, l'an et jour que dessus, ès présences des religieuses personnes Frere Thomas de Serbue, celerier de Saint-Laurent d'Yain et Jacques de Roncherol, prieur cloustrier de la dite abbaye de Savigny, à ce appelés et requis, et de moy, notaire. Signé : Genevey. »

Enfin un quatrième règlement de compte met fin à la direction de l'exploitation de Claude Blanc, qui est remplacé par Lancelot Reynard de Montrotier, ainsi que le prouvent les deux pièces suivantes :

« Sachent tous que l'an de grâce 1511, entre Révérend Père en Dieu Monsieur frère François d'Albon, abbé de l'abbaye de Savigny au diocèse de Lion, d'une part, et Claude Blanc, *mineur foncier* dela paroisse d'Ancieu, d'autre part. Entre eux ont fait fin de compte des mines du dit Ancieu, frais, mises, et receptes des dites mines de tout le temps passé jusqu'à la datte des présentes ; aussi de l'in-

terèt et dommage des terres et possessions que le dit Claude Blanc pretendait envers le dit seigneur à l'occasion du dommage que les dites mines par cy-devant avoient fait et pourté à icelluy Claude Blanc du temps passé jusqu'à ce jour date des présentes. A esté dû et accordé entre le dit seigneur de Savigny et le dit Blanc qu'ils demourent et demoureront quites l'un envers l'autre sans jamais demander l'un à l'autre aucune chose à cause des mines dessus dites. Et pour ce faire s'en obligent entre eux et tous leurs biens en soy soubmettront à toutes cours du Roy, official de Lyon et toutes autres renonçant a tous droiz par lesquieulx ils voudroyent venir au contraire. Donné à Saint-Bel le 14^e jour de juillet l'an que dessus, ès présences des honnestes personnes Lancelot Reynard et de messire Bartholomieu Blanc, curé de Montmaïord.

« Aujourd'hui 15 juillet 1501, entre Révérend Père en Dieu frère François d'Albon, abbé de Savigny au diocèse de Lyon, d'une part; noble Mathieu Baronnat pour ly et Guillaume et Jehan ses frères; honneste Jehan Lancelot Reynard, marchant de Montrotier, pour ly et au nom de discrete personne Claude de Saint-Prevorien de Montrotier, entre eux ont fait fin de compte touchant la recepte et mise faites par le dit Lancelot Reynard a cause des mines de Perrera desquelles *il a le gouvernement et charge*, et ce depuis le 18^e jour de mars l'an 1509 jusqu'a ce dit jour 15^e de juillet 1511. Et par la fin du dit compte a esté entre eux accordé que de tous frais, mises ordinaires et extraordinaires. aussi de tout l'argent et plomb yssu des dites mines tant de la montagne que des regrais faits et livrés par le dit Lancelot durant le dit temps, demoureront les dites parties et chacun d'eulx quites les uns envers les autres. Et pour ce que la recepte est plus grande que les mises, le dit Lancelot Reynard nonobstant ce que dit et demeure devant a la dite compagnie la somme de trente deux livres 14 sols 11 deniers de laquelle somme il tiendra compte à la dite

compagnie, aussi tiendra le compte de certain reste de *chandoyelles* qu'il a devers ly pour l'affaire des dites mines..... et promettent les dites parties par leur foy et serment sur l'obligation de tous leurs biens tenir et accorder ce que dit est; et de non venir au contraire, en se soumettant a toutes cours et renoncent à tous droiz pour les quieux ils vouldroyent venir au contraire. Fait à Saint-Bel l'an et jour que dessus, ès présence de vénérable personne frère Thomas de Serbue, hostellier de Savigny, et M^{re} Bartholomieu de la Moliere, curé de Montmalord.» (Cet acte n'est pas signé par le notaire.)

La preuve que la mine de *Suchel* n'était pas abandonnée, mais unie à celle de *Pererea*, se trouve dans l'accord suivant :

« Sachent tous que l'an de grâce 1511 le 15^{me} jour de juillet : entre Révérend Père en Dieu Frère François d'Albon, abbé de l'abbaye de Savigny près Lion, au diocèse du dit Lion, d'une part, et honeste personne Lancelot Reynard, paroissien de Montrotier, d'autre part, entre eulx sachant de leur bon gré, car ainsi leur a plu et voloir : ont fait fin de compte tant de la recepte, dépense ordinaire et extraordinaire des mines de *Pererea* en la paroisse du dit Montrotier dont le dit Lancelot a le gouvernement et charge au moyen de l'association d'entre eulx, aussi des mines qu'il a fait pour le dit sieur *touchant la mine des Blans en la paroisse d'Ancieu*, et ce depuis le dernier compte fait entre eulx le 18^{me} jour de mars l'an 1509 avant Pasques jusques à cedit 15^{me} jour de juillet 1511, que aussi de tous aultres deniers, blés et vins baiglés et prestés par cy-devant les unz et aultres et ce de tout le temps passé à la date des présentes, a esté dit et accordé entr'eulx que les dits sieurs de Savigny, Lancelot, des dits frais, mise, dépens, argent, blés et vins demourent quites l'un envers l'autre. . . . Et pour ce moyen s'en obligent les dits sieurs de Savigny et

Lancelot tous leurs biens eclesiastics et mondains en se soubmetant pour ce faire a toutes cours du Roy, l'official de Lyon et aultres.

« Donné a St-Bel l'an et jour que dessus, ès présences de Frère Thomas de Serbue, hostellier de Savigny, et de Messieurs Bartholomieu Blanc, curé de Montmalord.»

(Tous ces actes ne sont pas signés du notaire.)

Comme on le voit par cet accord, la mine de *Suchel* ou des *Blancs* était administrée par Lancelot et était unie à celle de *Pererea*.

Tableau des produits de la mine de *Suchel* à Ancy (1495-1504).

DATES des livraisons à la Monnaie.	PRIX FACTEURS ou noms des ouvriers.	QUOTITÉ d'argent.			VALEUR en monnaie de compte.			PLOMB à 30 sols le quintal.	
		Marcs.	Onces.	Deniers.	Livres.	Sols.	Deniers.	Quintaux.	Livres.
22 nov. 1495.	Jean Humbert.	9	7 3/4		110	5	6	33 1/2	
25 mars 1495.	Id.	8	6 1/2		97 1/2			27	
7 juin 1496.	Id.	7	7 1/2		87	16		3 35 1/2	
16 déc. 1497.	Barth. Magat.	3	»	6	33	10		7 11	
16 déc. 1497.	Jean Humbert, Magat et Carles.	7	2 1/2		80	17		10 24	
30 nov. 1497.	Jean H., Ant. et Jacques Dufort.	15	7		175	12		6 51	25
23 fevr. 1497.	Mathieu Batu, Jehan du Bussy.	2	4	16	28	10		6 14	15
6 nov. 1495.	Léonard Blanc, Phil. Buron, Guil. Arnoud.	3	2		35	19		10	
»	Colas et Carles, Michel Borge, Cl. Eripos.	8	4	6	94	7		7 27	
10 janv. 1496.	Jean H., Grégoire.	15	4		171	6		10 44	
21 avril 1497.	Barthélemy.	5	3		59	9		4 22	
21 avril 1497.	J. H., Cl. Blanc, Magat.	14	5	3	160	4		4 37	60
7 juillet 1497.	Berthaud, Benoît de la Goutte.	7 1/2	»		82	19		5 33	
28 avril 1498.	André du Richiz, Berthaud.	11 1/2	3/4		128	5		4 46	85
13 juillet 1498.	Id.	15	1	16	108	4		3 49 1/2	
21 août 1498.	Jean H., Grégoire Chiret.	8	6		96	15		29	3 quarterons.
21 août 1498.	Magot, Cl. Blanc et J. Humbert.	12	3	6	137	5		37	30 liv.
17 déc. 1498.	Mathieu Batu.	14	5		161	15		6 50	81
13 déc. 1498.	André du Richiz, Berthaud.	9	6		107	17		6 47	95
13 mars 1499.	J. Burat et Barbier.	3	»		6 33	10		7 9	80
23 mai 1499.	J. H., Grégoire, Louis.	10	7	6	120	12		36	
16 mars 1499.	J. H., Grégoire.	9	2	6	102	14		5 29	40
4 juin 1499.	Guil. Maillard.	9 1/2	»		104	10		27	85
27 juin 1499.	Barth. Richiz, etc.	15	2	7	169	1		9 52	
28 mai 1499.	Ant. Magat.	6	»	18	66	7 1/2		25	
12 juillet 1499.	Léonard Joly, J. Buret.	4	1		45	12		6 11	10
5 juillet 1499.	J. Barbier (garde des mines commen- cement du rôle), J. H., Grégoire.	11	2	12	114	11		3 27	30
9 oct. 1499.	Math. Batu.	18	6	24	208	10		61 1/2	
14 nov. 1499.	Ant. Magat.	5	2	18	58	18		19	

Suite du tableau précédent.

DATES des livraisons à la Monnaie.	PRIX FACTEURS ou noms des ouvriers.	QUOTITÉ d'argent.			VALEUR en monnaie de compte.			PLOMB à 30 sols le quintal.	
		Marcs.	Onces.	Deniers.	Livres.	Sols.	Deniers.	Quintaux.	Livres.
10 nov. 1499.	Barth. Bonamour.	9 1/2	"	6	105	"	12	30	
20 déc. 1499.	Berthaud Presles.	18	"	2	202	4		51	11
1 ^{er} mai 1500.	Batet, P. Bonnamour.	22	"	4	240	18		48	93
23 mai 1500.	Berthaud.	21	6	12	240	12		64	
5 juin 1500.	J. Burat (mine du Richiz).	2	"	6	22	16		5	
5 juin 1500.	Magat.	14	"	"	135	"	4	36	
23 juin 1500.	Barth. Bonamour (mine des Mal- liards).	11	6	"	130	"		40	
"	Giboyer (Jean).	1	4	8	16	11	2	4	
13 oct. 1500.	Grégoire.	10	1	2	112	9	9	27	
10 déc. 1500.	Berthaud Presles.	6	2	"	69	4	9	22	
13 déc. 1500.	Ant. Magat.	6	"	12	66	14	4	20	
18 janv. 1500.	Ant. Batet.	16	4	"	186	12	18	51	
27 janv. 1500.	Giboyer.	8	5	6	95	8		22	
"	Presles.	21	4	19	238	3		63	
"	Burat.	9	6	6	8	16		2	
20 avril 1501.	Ant. Magat.	9	4	16	103	14		29	
10 mai 1501.	Jean Burat.	1	7	8	21	12		4	
20 juin 1501.	J. Giboyer.	2	1	23	19	19		14	
26 oct. 1501.	Berth. Presles.	5	2 1/2	"	58	15		14	
26 oct. 1501.	Pierre Batet.	9	3	"	106	"	18	25	
24 déc. 1501.	Grégoire.	8	2	16	92	5	8	23	
10 févr. 1501.	Batet.	4	6	9	52	10		12	
23 mars 1501.	J. Jaquetan.	9	1	"	100	18	9	26 1/2	
13 avril 1502.	Prochi (de).	11	4	"	127	4		46	
15 avril 1502.	Jean Burat.	3	5	"	40	"	15	9	80
4 juin 1502.	Ant. Magat.	10	6	18	120	"		24	
2 juin 1502.	J. Jaquetan.	6	4	12	72	11		18	
2 juin 1502.	J. Burat.	2	5	20	8	2		2	
10 déc. 1502.	Léonard Chirat.	3	7	"	31	16		5	
22 déc. 1502.	Grégoire.	3	"	1	33	2	7	7	
11 mai 1503.	Benoît Desgouttes.	17	"	"	188	1	3	50	
2 juin 1503.	Jean Martin.	5	1	"	56	3	9	12	
1 ^{er} déc. 1504.	Benoît de la Goutte.	12	3	"	102	13	6	36	
	Magat.	3	3	"	38	"		8	

(Registre déchiré; il y manque plusieurs feuillets; puis, à la date de 1511, on parle des mines Perérea.)

Tableau des produits de la mine d'argent de Perérea à Montrotier.

DATES.	NOMS DES MINEURS.	QUOTITÉ d'argent.			VALEUR en monnaie de compte.			PLOMB à 30 sols le quintal.	
		Marcs.	Onces.	Deniers.	Livres.	Sols.	Deniers.	Quintaux.	Livres.
11 déc. 1511.	Léonard du Bussy Cabellier.	9	2	(à 3/10 ^e 1/2)	102	"	5 gros.	20	10
18 déc. 1511.	Léonard Prochi, Perrin, Marc.	6	"	22	67	11	4 den.	15	80
18 déc. 1511.	Jean Burat.	2	"	"	22	2	6	3	
21 mars 1511.	Jean du Bussy.	5	2	"	58	8	"	10	10
15 mai 1512.	B. Cabellier.	10	0	"	111	12	"	27	30
22 mai 1512.	Burat.	1	6	"	19	12	9	4	
14 janv. 1511.	Magat.	3	1	"	34	17	9	—	
29 mai 1512.	Léonard Prochi.	10	"	"	111	15	3	—	60
17 juin 1512.	Magat.	3	5	"	40	7	9	—	60

À la date du 17 juin 1512, se termine le document dont nous nous occupons. Rien ne vient confirmer la cessation des travaux ou leur continuation.

M. de Valous a publié en mai 1865, dans la *Revue du Lyonnais*, une analyse fort curieuse sur le *Domaine ordinaire du Lyonnais* au commencement du xvi^e siècle, où il est parlé de la *recette du dixième des mines*. Nous voyons dans ce travail qu'en juillet 1523 M. de Chamossot et ses consorts livrent au receveur la somme de 16 livres 11 sols 2 deniers pour le dixième d'une pièce d'argent fin issu de la montagne de *Meyterez*, pesant 10 marcs 4 onces 18 deniers, et pour 6 quintaux 6 livres de litharge et 3 quintaux de plomb provenant de la même pièce, valant le tout 105 livres 11 sols 9 deniers. Outre la mine de Meyterez, M. de Valous cite encore les mines de Montiznel, Chanereuz, Cosne, Saint-Germain, la Guynote, la Colla. D'après les calculs de M. de Valous, les mines précitées ont rendu en *trois exercices* 181 marcs d'argent, 108 quintaux de litharge et 60 quintaux de plomb, tandis que la mine de Suchel a rapporté, seule, en 1500, 142 marcs d'argent et 411 quintaux de plomb. La différence de rendement est énorme.

Il serait sans doute intéressant d'explorer l'ancien puits de la mine de *Suchel*; on pourrait y trouver des renseignements sur le mode d'exploitation pratiqué dans le Lyonnais à la fin du xv^e siècle. Nous n'avons pu réaliser le désir que nous aurions eu de le faire, mais nous avons constaté, à 150 mètres environ au-dessous du puits, l'existence de filons de baryte, que les travaux d'un chemin avaient mis à découvert et qui se rattachent vraisemblablement au gîte anciennement exploité.

Lyon, mars 1877.

NOTICE GÉOLOGIQUE

SUR

LA SUBDIVISION DE TLEMCCEN

Par M. POUYANNE, ingénieur des mines.

Pendant un très-long séjour dans la subdivision de Tlemccen, j'ai travaillé à l'établissement de la carte géologique de cette région au moyen d'un relevé, aussi exact qu'ont pu le donner de très-nombreuses mesures angulaires, des limites qui séparent les diverses formations, telles qu'on peut les apercevoir sur le sol, et sauf certaines incertitudes qui seront indiquées plus bas; j'ai reconnu et étudié séparément les diverses masses minéralogiques distinctes qui constituent les formations de la contrée, sans d'ailleurs me préoccuper directement de l'étude des synchronismes entre ces formations et les divers étages reconnus et dénommés ailleurs. Toutefois des fossiles plus ou moins nombreux ont été recueillis sur divers points, et leur examen a paru permettre l'établissement de plusieurs de ces synchronismes. Sur ce point, je m'en suis entièrement rapporté aux lumières de M. Pomel, chargé de l'étude géologique d'une autre portion de la province d'Oran, et j'ai admis les identifications qu'il a obtenues au moyen de quelques fossiles caractéristiques. Le surplus des fossiles trouvés est réuni à la collection du service des mines à Oran, et sera sans doute ultérieurement décrit par ce géologue, en même temps que les autres fossiles de la province, description qui d'ailleurs a déjà été commencée.

Mes propres mesures de limites ont été réunies et synthé-

tisées en une seule carte à l'échelle du 1/400.000° (V. Pl. IV) basée sur mes mesures angulaires, et sur la position d'un certain nombre de points de premier et deuxième ordre obtenue par les travaux de l'état-major. Cette carte a été remise le 17 janvier 1876 à M. l'inspecteur général Ville. La présente notice est rédigée pour lui servir de texte explicatif provisoire et s'y référera toutes les fois qu'il en sera besoin. Ce travail, pour le présent, ne peut être que succinct et incomplet, mais il pourra, je l'espère, être poursuivi et développé ultérieurement quand j'aurai pu trouver le temps de terminer ma carte et de faire sur le terrain les observations complémentaires convenables.

La présente note ne s'applique pas à la totalité de la subdivision de Tlemcen actuelle, laquelle, depuis quatre ans environ, a été augmentée du cercle de Daya, qui m'est complètement inconnu. Elle ne concerne que l'ancienne subdivision formée par les quatre anciens cercles de Tlemcem, Nemours, Lalla-Marnia et Sebdu. Ce dernier s'étendait jusqu'au Sahara, en englobant les hauts plateaux autour du Chott el R'arbi et les Ksours des Hamians. En 1861, j'ai pu faire une course de cinq semaines dans cette région, et j'ai décrit mes observations dans un rapport spécial auquel je ne saurais rien ajouter, n'ayant pas eu occasion depuis de revoir ce pays. Je ne parlerai donc ici que de la région du Tell, en décrivant d'abord sommairement les formations sédimentaires et ensuite les formations éruptives. J'aurai aussi à dire quelques mots des directions de dislocations existantes, mais je suis bien loin de pouvoir traiter ce dernier sujet à ma satisfaction; j'avais projeté un système de mesures précises qui devait être mis à exécution après l'achèvement des déterminations de limites; le temps m'a manqué pour le réaliser, les limites elles-mêmes n'ayant pu être encore entièrement déterminées.

PREMIÈRE PARTIE.

TERRAINS SÉDIMENTAIRES.

Les terrains sédimentaires sont nombreux et variés, bien qu'ils laissent de fort grosses lacunes dans la série générale. Dans un pays qui, en somme, est à peine plus grand que deux gros départements français, j'ai pu distinguer quatorze formations minéralogiquement et stratigraphiquement bien séparées, et il est possible que quelques-unes aient à subir des dédoublements à la suite d'études ultérieures.

En voici l'énumération, en commençant par les plus anciennes; chaque formation est désignée par un nom local arbitraire et par l'indication du synchronisme avec les étages européens quand ce synchronisme est connu.

1° Schistes de Gar Rouban et des Traras ou schistes anciens.	
2° Poudingues des Beni-Menir.	
3° Calcaires du Tléta et du Sfyane . . .	Lias supérieur.
4° Marnes et calcaires du Slib.	Oxfordien.
5° Grès de Bou Médine.	Corallien.
6° Calcaires dolomitiques de Tlemcen.	Jurassique supra-corallien.
7° Terrain d'Aïn Requiza.	Néocomien inférieur.
8° Grès et marnes de Tahouaret.	Crétacé inférieur.
9° Calcaires blancs de Béguirra.	
10° Cartennien (de M. Pomel).	Miocène.
11° Helvétien (idem.)	Pliocène.
12° Terrain de Sebdu.	
13° Terrains des hauts plateaux, cailloux roulés divers.	Quaternaire ancien.
14° Alluvions. Tufs contemporains.	Quaternaire récent.

1° Schistes anciens.

Les plus anciennes couches sédimentaires qui existent dans la subdivision de Tlemcen sont celles que je désigne sous le nom de *schistes anciens*, faute de données suffisantes pour pouvoir en déterminer l'âge. Elles se rencontrent en massifs de grandeurs diverses, entièrement isolés au milieu des formations plus récentes. Le plus grand se trouve dans les Traras, où il forme notamment la crête du Dahar ed Dis, qui est parcourue par la route stratégique allant de Nemours à la Tafna. Ce massif schisteux, assez considérable, se prolonge en une espèce de queue effilée, dont la continuité est un peu interrompue sur le flanc sud de la chaîne qui joint le djebel Fillaoucen au Djorf el Amar; ce prolongement arrive à peu près jusqu'à la frontière marocaine.

Un deuxième massif schisteux, moins étendu en somme que le précédent, mais considérable encore, se rencontre plus au sud, et comprend les filons métallifères de Gar Rouban. Sa direction générale est parallèle à la côte; il se termine à l'est à la hauteur du village kabyle de Khemis, et pénètre en Maroc à l'ouest.

Des îlots plus petits du même terrain se rencontrent sur la rive droite de la Tafna et sur le territoire des Ouelhassa. Ce sont les plus orientaux de la subdivision dont ils occupent en même temps la partie la plus septentrionale. Au sud de ceux-ci, les schistes anciens ne se montrent plus nulle part, de façon que l'on voit ce terrain émerger, surtout vers l'ouest, et que l'on peut penser qu'il se développe davantage sur le territoire marocain.

Par suite de l'isolement des divers massifs, on peut se demander s'il est bien sûr qu'ils correspondent tous à un terrain unique. C'est là un point qu'on ne saurait affirmer absolument en l'état actuel des observations; mais au moins il est sûr que tous ces îlots sont plus anciens que toutes les

autres formations sédimentaires du pays. Ils présentent d'ailleurs une assez grande homogénéité de caractères minéralogiques, et les faibles différences qu'on peut y trouver sous ce rapport sont suffisamment expliquées par l'énorme puissance de ce terrain et la simple différence de hauteur des roches laissées à découvert par les phénomènes postérieurs.

Ce terrain est principalement formé de schistes phylla-diformes, assez souvent un peu talqueux et satinés, de colorations diverses, mais généralement peu éclatantes, parmi lesquelles le jaune rougeâtre domine de beaucoup. Leur stratification est très-nette, mais le plus souvent fort tourmentée, et les traces de dislocations y sont innombrables. Ils contiennent quelques rares couches de calcaire peu épaisses et un assez grand nombre de couches de quartzites gris intercalaires. Les schistes sont très-fréquemment sillonnés par des veinules de quartz blanc laiteux, et ce caractère peut être utile pour les distinguer en certains points où ils supportent des marnes schisteuses secondaires formées à leurs dépens, et qui, vers les points de contact, leur ressemblent beaucoup. Dans la vallée de la Zouïa, près de Gar Rouban, une telle confusion serait facile à commettre, et il en est de même sur quelques autres points.

C'est dans le grand flot des Traras que cette formation est le mieux et le plus nettement visible, et l'on pourrait y obtenir une coupe détaillée en montant du fond de l'oued Ahenai jusqu'au sommet de la crête de R'ar el Medjdem, qui limite à l'est le bassin de cet oued. Ce serait, il est vrai, un travail des plus pénibles, à cause de l'excessive raideur des pentes; néanmoins il n'est nullement impossible, et je regrette beaucoup de n'avoir pas eu le temps de l'exécuter. En gros, on trouve à la base une assise épaisse de schistes bleus noirâtres; au-dessus, une énorme assise de schistes où domine le jaune rougeâtre; en haut, une assise fort épaisse aussi de schistes à cassure grenue et âpre, qui,

sur certains points, passent à de véritables grès blanchâtres ou jaunâtres qu'au premier aspect on prendrait facilement pour des roches éruptives. La puissance totale, qu'on peut apercevoir sur le flanc oriental de la vallée de l'oued Ahenai, atteint au moins 1.500 mètres. C'est en ce point que les schistes sont le moins tourmentés, bien qu'ils le soient encore beaucoup; et c'est là qu'il faudra scruter, quand on pourra pousser leur étude plus loin qu'elle n'est actuellement arrivée. Je n'ai point vu ailleurs l'assise inférieure, à moins que quelques schistes ardoisiers qui existent dans l'îlot de Gar Rouban, au fond de la vallée de Sidi Yacoub, ne représentent la partie la plus haute de cette assise.

Le massif de Gar Rouban, et toute la partie sud du massif des Traras, ne paraissent formés que par l'assise moyenne. Dans le massif de Gar Rouban, cette assise contient au moins une couche calcaire, ainsi que l'ont montré les travaux de Bergasse, dans la vallée de l'oued Allouba (concession de Gar Rouban). Une seconde lentille calcaire subordonnée aux schistes existe aussi à Sidi Yacoub, et y est partiellement transformée en hématite. Enfin une autre lentille se voit au fond de la vallée de l'oued Sidi Aramoun. Celle-ci pourrait bien être un terrain inférieur. Mais c'est là une chose que je n'ai pu vérifier, quoique j'aie essayé quatre fois de le faire, à cause de l'extrême difficulté provenant de la raideur des pentes et de la broussaille épaisse qui se combinent fâcheusement en ce point. Il faudrait pouvoir faire enlever toute la broussaille sur une étendue de 3 ou 4 hectares. Sur ce que l'on peut apercevoir des points accessibles, on ne saurait décider si l'on a affaire à une lentille inférieure aux schistes, ou subordonnée à eux, ou même à un calcaire des terrains supérieurs accidentellement chaviré.

Les îlots des Ouelhassa sont formés de schistes semblables à ceux de l'assise moyenne des Traras. Toutefois, au haut du principal d'entre eux, celui du djebel Skouna, on trouve une assise épaisse de quartzites qui me semblent

représenter l'assise supérieure des Traras. A la base de l'îlot, au contraire, on rencontre deux ou trois minces couches de calcaires.

En somme, toute cette formation est dès aujourd'hui bien délimitée, sauf peut-être quelques îlots soupçonnés à l'ouest de Nemours, et dont l'existence n'est point encore certaine. Mais sa constitution intérieure n'est point encore bien connue; je n'y ai jamais trouvé aucune trace de fossile quelconque. Cela me porte à penser que ce terrain est très-ancien. On verra en tous cas qu'il est séparé du lias par un intervalle considérable, et pour ma part je suis disposé à le regarder comme antésilurien, sans pouvoir cependant apporter rien de démonstratif à l'appui de cette opinion, qui repose sur des considérations de direction offrant seulement des probabilités plus ou moins fortes, et dont je parlerai dans la troisième partie du présent travail.

2° Poudingues des Beni Menir.

Cette formation est désignée sur la carte sous le nom de *Terrains de la Montagne des Lions*, parce qu'il en existe une semblable à la montagne des Lions, au djebel Khar, un peu à l'est d'Oran. On en trouve aussi des traces au cap Falcon et sur quelques autres points de la côte; dans la subdivision de Tlemccen, il n'en existe qu'un îlot notable, dans la tribu des Beni Menir, appuyé sur le bord occidental du grand massif schisteux des Traras; quelques autres îlots, d'étendue superficielle très-faible, existent aussi sur les flancs sud et est du djebel Fillaoucen. Ils sont à peine visibles à l'échelle de 1/50.000^e et n'ont pu, par conséquent, figurer sur la carte au 1/400.000^e.

Tout petits qu'ils sont, ces îlots ne laissent pas d'être fort intéressants. On les trouve en effet à la limite qui sépare les schistes anciens des calcaires appartenant au lias supérieur, dont il sera question plus bas, et toujours net-

tement intercalés entre les deux formations. Malheureusement, dans ces flots, la stratification n'est pas visible; néanmoins il est facile de juger qu'ils reposent sur les schistes tout à fait transgressivement, c'est-à-dire en discordance absolue. Mais leur relation avec les calcaires supérieurs n'est pas nette, et si l'on ne connaissait d'ailleurs l'énormité de la puissance de ces couches dans le grand flot de Beni Menir, on pourrait être tenté de les juger concordants avec les calcaires liasiques. Mais cette hypothèse est démentie par deux faits: d'abord dans le grand flot il n'y a pas trace de calcaires liasiques, ce qui serait inexplicable en cas de concordance; et puis sur l'un des petits flots, on voit les calcaires supérieurs contenir quelquefois à leur base des cailloux du terrain dont il s'agit, ce qui suppose une discordance nette. Le terrain en question est donc antéjurassique d'une part, et d'autre part postérieur aux schistes anciens.

Sa composition est entièrement arénacée; de bas en haut, je n'y ai vu que des poudingues. Ceux de la base sont exclusivement formés par des débris arrachés aux schistes anciens. Dans le haut, au contraire, les débris de schistes sont associés à des débris de granite, et ceux-ci finissent par devenir tellement prédominants que les couches prennent l'apparence d'un granite en place qui serait stratifié. Il reste toujours néanmoins par-ci par-là quelques débris de schistes, et de plus, en examinant la roche à la loupe, il est facile de s'assurer que les éléments granitoïdes qui la composent ont tous subi un roulage plus ou moins considérable. Cette composition donne aux couches du haut un aspect spécial et absolument unique; ce sont ces couches surtout que l'on voit dans les petits flots du flanc du djebel Fillaoucen.

Je n'ai pu mesurer exactement la puissance de ce terrain; mais je crois pouvoir affirmer que son minimum est de 400 mètres et que ce minimum est très-bas. La stratification est très-nette dans le grand flot des Beni Menir; les

plongées y sont très-fortes du côté nord, sans pourtant que le terrain paraisse extraordinairement tourmenté.

La formation de ce terrain a certainement exigé une dénudation des schistes anciens extrêmement considérable, et par suite il est très-probable que ces poudingues sont assez considérablement postérieurs aux schistes anciens, au lieu de les suivre immédiatement dans la série générale. L'étude précise de leurs directions, quand elle pourra être faite, semble donc devoir donner des résultats tout particulièrement intéressants.

Je n'y ai rencontré aucun fossile; mais il y a quelque espoir d'en trouver ultérieurement, car dans le terrain semblable qui existe au djebel Khar, il a été trouvé un tronc d'arbre fossile. Cet échantillon s'est trouvé insuffisant pour une détermination d'âge certaine. Néanmoins, M. Pomel a pensé qu'il pouvait, avec quelque probabilité, se rapporter à l'époque permienne. Quoi qu'il en soit, il est curieux de noter le caractère arénacé de cette formation et les puissantes dénudations dont elle démontre l'existence. On retrouvera ces mêmes phénomènes à des époques postérieures avec des intensités comparables.

3° Calcaires de Tléta et du Sfyar. — Lias supérieur.

Cette formation est exclusivement composée de calcaires reposant tous sur des schistes anciens, sauf les quelques endroits du flanc du Fillaoucen, où ils reposent sur des flots de poudingues granitoïdes, ainsi qu'il vient d'être dit plus haut. Ces calcaires sont en couches, dont beaucoup fort épaisses, atteignent assez fréquemment une puissance de 1 mètre, la dépassant quelquefois, ce que je n'ai pas eu occasion d'observer dans des calcaires supérieurs où je n'ai pas vu la puissance des couches dépasser 0^m,50 à 0^m,60. Ils sont très-fréquemment fendillés en divers sens, sur les surfaces affleurant; l'action des agents atmosphériques a

généralement agrandi les fissures et laissé ainsi les calcaires superficiels à l'état de blocs isolés, dont l'ensemble forme couche plus ou moins bien marquée. Par suite de cette circonstance, la stratification, très-nette sur certains points, est à peu près indiscernable sur beaucoup d'autres. Tous ces calcaires sont très-compacts, gris ou bleuâtres, assez souvent subcristallins.

La puissance réelle de cette formation n'est point connue, et souvent elle semble très-faible dans le voisinage des schistes anciens. Mais au Sfyane et au pied est du Fillaoucen, on peut affirmer qu'elle dépasse 50 mètres.

Les incertitudes sur la stratification vraie empêchent de prendre une mesure précise.

Ainsi que je l'ai indiqué ci-dessus, ces calcaires reposent sur les schistes en stratification absolument discordante, et le plus souvent transgressive. Bien plus, les assises voisines des schistes en contiennent très-fréquemment de nombreux débris, disposés à plat en zones parallèles à la stratification. Elles prennent alors elles-mêmes un aspect rubané et peuvent être qualifiées de calcschistes; en même temps elles prennent une épaisseur beaucoup moindre que dans le reste de la formation.

Si la discordance de ces calcaires avec les terrains inférieurs est complète, il n'en est pas de même avec le terrain supérieur. Là, au contraire, je n'ai pu constater aucune discordance visible au contact. Cependant il suffit de jeter les yeux sur la carte pour reconnaître que les calcaires, même par rapport à ce terrain supérieur, ont toute l'allure d'une formation indépendante. Cette allure concorde bien avec les faits paléontologiques qui paraissent démontrer l'existence d'une grosse lacune entre les calcaires et les marnes immédiatement supérieures. J'ai trouvé en effet des ammonites assez nombreuses sur divers points des îlots calcaires, notamment dans les Traras, auprès du marabout de Sidi Ahmed bel Hassen, et non loin des Ouled

Zekri, l'un de ces points sur le flanc droit et l'autre sur le flanc gauche de la vallée de l'oued Hammam. On en trouve aussi au col de Souk el Arba, un peu au sud du marché. Ces échantillons ont été examinés par M. Pomel et par M. Vélain, qui ont été unanimes à y reconnaître la faune du lias supérieur. Ils proviennent des couches les plus élevées de la formation calcaire. Celle-ci est donc tout entière liasique.

Dans les marnes supérieures, au contraire, les fossiles rencontrés en plusieurs points appartiennent tous à l'étage oxfordien; il y a donc une lacune remarquable entre les deux formations.

Ce n'est pas seulement dans les Traras que j'ai rencontré des ammonites, il y en a aussi sur le Slib et aux environs de la mine de Tléta, non loin du village de Khemis. L'existence et la caractéristique tant paléontologique que stratigraphique des calcaires du lias supérieur sont donc certaines tant au nord qu'au sud de la plaine de Marnia. Mais j'ai remarqué aussi un certain nombre d'îlots du même terrain dans la partie nord-est de la subdivision chez les Ouelhassa. Ici l'attribution n'est plus aussi certaine, et voici pourquoi: il manque d'abord la caractéristique stratigraphique du côté supérieur. Ces calcaires, en effet, passent sous un système de marnes; mais ce système, dont il sera question plus bas, est fort différent des marnes oxfordiennes et appartient à l'époque crétacée. Il n'a malheureusement pas été possible de voir si le contact a lieu en discordance marquée ou autrement. La première hypothèse est seulement la plus probable. La caractéristique paléontologique manque aussi jusqu'à présent, aucun fossile n'ayant encore été rencontré jusqu'à présent dans ces îlots orientaux. Mais d'autre part, les calcaires de ces îlots ressemblent aussi exactement que possible aux calcaires liasiques des Traras. Ils reposent comme eux sur les schistes, et même quelquefois ils reposent en ceinture sur les îlots schisteux, représen-

tant sans doute alors des têtes de couche dont l'érosion a enlevé le reste. Cette disposition pourrait donner lieu à plus d'une erreur d'appréciation et faire croire à tort à des intercalations dans les schistes, si l'on ne retrouvait le même caractère qui s'observe dans les Traras au voisinage de ces derniers, à savoir la présence dans les couches calcaires de nombreux débris de schistes disposés parallèlement à la stratification. L'analogie et le voisinage conduisent donc à rapporter ces îlots orientaux au même âge que les îlots des Traras, bien que l'on n'ait point encore de preuves péremptoires de la légitimité de cette assertion.

Ces derniers îlots orientaux sont des plus intéressants, parce qu'ils contiennent de nombreux gîtes d'hématite provenant de la transformation des calcaires par l'action d'anciennes sources thermo-minérales. J'ai présenté récemment un mémoire à ce sujet (publié dans les *Annales*), qu'il est inutile par conséquent de traiter de nouveau. Des traces d'une semblable action ferrifère existent aussi dans les calcaires des Traras et dans les environs de la mine de Tléta. C'est une analogie de plus, mais non complètement démonstrative, car ces faits semblent dus surtout à la nature minéralogique des calcaires et non à leur âge. Dans la province d'Alger, des faits semblables s'observent sur des calcaires néocomiens. Néanmoins, dans la subdivision de Tlemcen, on n'en observe pas de semblables sur les calcaires jurassiques supérieurs; les traces de fer que l'on y rencontre ont des allures fort différentes.

Je ne dois pas omettre une circonstance minéralogique remarquable : c'est que sur un assez grand nombre de points, les calcaires liasiques passent à une dolomie grisâtre à l'extérieur, mais à cassure blanche, très-cristalline, d'un aspect gras particulier. Cette transformation, toutefois, ne s'observe point sur des couches entières, ainsi que cela se voit dans les étages supérieurs. Elle paraît rester toujours locale et être en rapport avec des émanations mé-

tallifères. Partout, en effet, où se montrent des dolomies, on trouve du plomb et du zinc au moins à l'état de traces, le plomb sous forme de galène, le zinc sous forme de blende ou de calamine. Le plus souvent malheureusement ces métaux paraissent n'exister qu'à l'état de simples traces. Toutefois on a signalé un gîte de quelque importance au pied du Fillaoucen. Je ne parle point des gîtes de Mazis et de Deglem, dans la concession de Gar Rouban, parce qu'il n'est pas bien décidé s'ils se trouvent dans l'étage liasique ou bien dans l'étage supérieur, lequel contient aussi parfois des dolomies ressemblant complètement à celles dont il est question ici.

4° Marnes et calcaires du Slib. — Oxfordien.

Cette formation est composée principalement de marnes très-calcaires ou de calcaires marneux à structure schisteuse, mais elle contient aussi des couches intercalées de calcaire compacte, dont la puissance est communément de 0^m,10 à 0^m,20. La couleur n'est pas complètement uniforme partout. Ainsi elle est jaunâtre dans la vallée de l'oued Hammam, au pied du Sfyen, au débouché de la Zouïa dans la plaine; gris jaunâtre seulement sur le flanc de la crête qui va du Fillaoucen à Bab Thaza; tout à fait grise sur le Slib, sur le flanc du Ras Asfour, dans la plaine de Missiouen. Mais c'est toujours en gros une même formation marneuse plus ou moins fossilifère. C'est surtout vers son milieu que les couches intercalaires non marneuses sont du calcaire; vers le bas, ce sont de petits bancs de grès plus ou moins quartziteux; vers le haut, ce sont des grès blanchâtres de duretés diverses; tout à fait en haut, ces grès commencent à prédominer, de sorte que la limite avec l'étage supérieur essentiellement gréseux n'est pas trop nette en certains points. Il en est ainsi notamment dans la plaine de Missiouen, au pied du djebel Toumezait.

J'ai trouvé des fossiles en beaucoup de points de ces marnes, notamment à Deglem et sur le Slib, à Abla, dans la plaine de Missiouen, et sur le flanc est du djebel Sfyen. Ils appartiennent à l'époque oxfordienne, d'après M. Pomel.

Cette formation est assez développée dans les Traras et dans le cercle de Nemours, dans l'ouest duquel, toutefois, je n'ai pu encore en séparer les îlots de calcaire du lias qu'elle enveloppe très-probablement. Elle est bien développée aussi dans les environs de Gar Rouban; mais on n'en trouve aucune trace à l'est de la Tafna, dans la subdivision de Tlemcen, bien qu'elle se retrouve plus à l'est dans la province, notamment à Saïda. A part ses fossiles, elle ne se distingue nettement des calcaires du lias que par sa composition minéralogique, mais non par une discordance marquée. Il y a cependant entre les deux une grosse lacune. Il y a donc lieu d'admettre que les îlots liasiques ont subi un mouvement lent d'émersion, puis un mouvement semblable d'immersion, mouvement s'étendant sur des surfaces assez vastes pour n'avoir pas dérangé sensiblement l'horizontalité des couches. On comprend ainsi qu'ils puissent supporter en concordance une formation assez postérieure. Il se pourrait aussi qu'il existât quelque discordance marquée, dissimulée actuellement par la difficulté qui se trouve fréquemment à apprécier la stratification des calcaires liasiques. Mais tel n'est certainement pas le cas sur le Slib, par exemple.

Je n'ai pu non plus saisir aucune discordance bien certaine entre les marnes et l'étage de grès qu'elles supportent. Les apparences de discordance qui existent d'une façon assez prononcée dans les environs de la mine de Tléta et de celle de Gar Rouban, se trouvent liées à l'existence de grandes failles qui rendent toute conclusion positive impossible. Je crois pourtant qu'une telle discordance existe réellement, sans se traduire par des différences d'inclinaisons

et de directions assez saillantes pour être mesurées avec certitude, et voici mes raisons de penser ainsi.

Si l'on jette les yeux sur la carte et que l'on examine les environs du djebel Fillaoucen, on verra que le sommet de cette montagne est formé par l'étage des calcaires dolomitiques, et qu'au sud et à l'est, cet étage repose sur l'étage des grès de Bou Médine, mais au nord il repose directement sur les marnes oxfordiennes. Bien que sur les lieux on n'ait pu reconnaître aucune discordance mesurable dans les allures des couches ni entre les marnes et les grès, ni entre les grès et les dolomies, ni même entre ces dernières et les marnes, il n'en est pas moins certain que les dolomies passent tant sur les grès que sur les marnes et que, par suite, il y a là une discordance transgressive. Cela prouve qu'il y a sûrement discordance entre les marnes et les calcaires dolomitiques, mais laisse à deviner si les grès concordent avec les marnes ou avec les dolomies. Mais si l'on considère que ni grès ni calcaires dolomitiques ne s'observent plus au nord-ouest de la chaîne du Fillaoucen, et que le terrain jurassique, pourtant assez développé dans cette région, y est représenté seulement par les marnes et par les calcaires liasiques, tandis qu'au sud et au sud-est l'étage des grès et celui des dolomies prennent tout leur développement, il paraît évident que la place actuelle de la chaîne du Fillaoucen a été fond de bassin à l'époque du dépôt des grès et des calcaires dolomitiques. Ces deux derniers étages sont plus intimement associés entre eux qu'avec les marnes; et le bombement des marnes qu'atteste la discordance transgressive ci-dessus doit être considéré comme ayant émergé un vaste îlot formé par le cercle de Nemours et les Traras, et cela avant le dépôt de l'étage des grès. Ce mouvement, seulement comme ceux qui ont existé entre le lias et les marnes, a été lent et n'a altéré que peu l'horizontalité des couches. La structure du Fillaoucen s'explique ainsi sans difficulté, et l'isolement de l'étage des

marnes se trouve aussi bien justifié stratigraphiquement que minéralogiquement et paléontologiquement.

On voit ainsi que ce n'est pas d'aujourd'hui que la terre d'Algérie est soumise à des alternatives d'abaissements et d'exhaussements très-lents, semblables aux mouvements qu'elle subit encore actuellement, comme la majeure partie du bassin méditerranéen.

Je ne connais pas la puissance exacte de l'étage des marnes oxfordiennes, n'ayant point encore rencontré de localité où le haut et le bas de cet étage se trouvent convenablement rapprochés pour une mesure exacte. Mais sur le flanc est du Fillaoucen, la puissance des couches visibles atteint au moins 100 mètres, et il est bien probable que ce chiffre est dépassé sur d'autres points.

5° Grès de Bou Médine. — Corallien.

Cette formation se compose essentiellement de grès entremêlés de marnes. Les couches de grès sont blanches, jaunâtres ou rougeâtres, de duretés très-diverses, depuis le grès tendre s'effritant presque sous le doigt, jusqu'au quartzite le plus dur; leur épaisseur individuelle varie de 0^m,10 à 1 mètre; les marnes sont à structure très-schisteuse, colorées fortement en vert clair et en lie de vin foncé, du moins le plus souvent; très-rarement grises ou blanches. Elles forment des lits intercalés entre les couches de grès ou entre de petits groupes de ces couches, de 5 à 6 mètres d'épaisseur au plus; ces lits varient de quelques centimètres à 0^m,3 ou 0^m,4 d'épaisseur; il est fort rare qu'ils dépassent cette dernière limite. Presque toujours ils sont difficiles à apercevoir, les couches de grès fournissant beaucoup de débris en petits blocs qui masquent tout le reste.

On trouve aussi des calcaires dans cet étage, mais non pas d'une manière constante. Ils y forment des lentilles

isolées, d'ailleurs assez longues et assez puissantes, car l'une d'elles, près de Mansourah, a au moins 25 mètres d'épaisseur. Ces lentilles sont formées de couches stratifiées régulièrement et séparées par de petits lits de calcaires marneux très-schisteux. Il y en a deux bien distinctes dans les environs de Tlemccen, une dans les environs d'Abla, une autre sur les flancs du Fillaoucen et deux dans les environs de Maghnia, dont une sur le bord de la Mouïlah. Ces lentilles sont fossilifères, et les fossiles sont principalement des polypiers et des baguettes d'oursins. Dans la lentille des bords de la Mouïlah et dans celle du Fillaoucen, on a trouvé trois ou quatre échantillons du *Glypticus hieroglyphicus*, de sorte que l'étage se rapporte avec certitude à l'époque corallienne. Dans les lentilles de Tlemccen, les polypiers sont rares; on rencontre principalement des néri-nées, des céromya et divers mollusques.

La puissance de cet étage n'est pas connue d'une manière précise, mais dans les environs de Tlemccen et chez les Doui Yahia, on ne peut pas lui attribuer moins de 300 mètres. Je ne serais point étonné qu'il en eût en réalité 150 à 200 de plus.

J'ai dit plus haut mes raisons pour le considérer comme stratigraphiquement indépendant de l'étage des marnes oxfordiennes, avec lesquelles toutefois il concorde bien sur la frontière occidentale. Il concorde aussi avec les calcaires dolomitiques supérieurs; toutefois, à quelques égards, il ne laisse pas d'offrir l'allure d'une formation indépendante. Si, en effet, on consulte la carte, on voit qu'il se montre seul sur un assez grand espace au nord-ouest de l'îlot de schistes de Gar Rouban. Il y présente un fond de bateau dans lequel s'enchâsse aussi en fond de bateau le bout oriental des calcaires dolomitiques du Kef, de sorte qu'il semble que ce dernier étage se soit déposé sur les grès, préalablement un peu émergés et formant fond de bassin. S'il en est réellement ainsi, cela fait un exemple de plus de

mouvements lents d'exhaussement n'ayant point influé sur l'inclinaison des couches, mais cet exemple est moins net que les précédents.

Ce sont des grès de composition minéralogique entièrement semblables, avec marnes vertes et lie de vin entremêlées, que j'ai vus dans mon excursion au pays des Ksours, en 1861. Comme ceux du Tell, ils passent sous des calcaires dolomitiques, et l'analogie m'a conduit à les rapporter au même âge, bien que je n'y aie point trouvé de fossiles. Je pense que cette attribution doit être conservée jusqu'à nouvelles observations.

Cet étage de grès joue un rôle fort important dans le massif jurassique du sud de Tlemcen. Il recueille les eaux qu'emmagasine l'étage des calcaires dolomitiques, grâce aux innombrables fendillements de ses couches, et les fait couler sur ses premières couches de marnes. Aussi, les principales sources du pays s'épanchent-elles aux lignes de séparation des deux étages, quand ces lignes ne sont point à une trop grande hauteur. Cet étage peut fournir aussi de bonnes pierres de taille; on en a utilisé à Gar Rouban, à Lalla Maghnia et à Tlemcen. Toutefois on leur préfère maintenant les calcaires de l'étage supérieur, qui sont, il est vrai, plus difficiles à tailler, mais aussi bien plus résistants.

6° Calcaires et dolomies de Tlemcen. — Jurassique supra-corallien.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur la carte pour voir combien cet étage est développé dans la subdivision de Tlemcen, et quelle importance il y présente. Il est très-puissant; aux environs de Tlemcen, dans le ravin de l'oued Mefrouch, entre la base et le sommet du djebel Hanif, il mesure 450 mètres au moins; ce chiffre est un minimum de la puissance de l'étage, mais minimum fort rapproché; je ne pense pas qu'il puisse être erroné de plus de 1/9^e.

Cet étage est peu fossilifère, ou du moins les fossiles y sont disséminés et fortement empâtés dans la roche, de façon à offrir des difficultés de détermination presque absolues; il y a toutefois un horizon de mollusques acéphales qu'on trouve dans la forêt de Titmokren, et aussi dans les environs de Sebdu, et dont on pourra sans doute tirer parti, quoique l'on y trouve guère que des moules de coquilles. Il est curieux qu'on n'y ait rencontré encore aucun céphalopode.

Malgré le peu de renseignements fournis par les fossiles, l'attribution de l'étage à l'époque jurassique n'en est pas moins parfaitement certaine. A Lamoricière, en effet, il vient passer avec une discordance marquée sous un petit lambeau de terrain créacé qui est très-fossilifère et se rapporte avec certitude au néocomien inférieur; un peu plus à l'est encore, le même néocomien inférieur, fort développé, vient s'appuyer contre les falaises de l'étage dolomitique, genre de relation qui constitue une discordance des plus marquées. En pareil cas, il est vrai, et si l'on n'avait pas d'autre renseignement, il pourrait arriver que l'on hésitât sur la question de savoir lequel des deux terrains ainsi en rapport a servi de bord de bassin à l'autre, et est, par suite, le plus ancien; mais, dans le cas actuel, l'hésitation n'est pas possible: 1° parce que l'étage dolomitique est en concordance avec les grès coralliens; 2° parce que à Lamoricière il passe sous le lambeau néocomien; 3° parce que près du marabout de Sidi Hamza il supporte de même de faibles restes de couches néocomiennes, derniers témoins d'une énorme dénudation, et encore bien caractérisées par leurs fossiles. L'étage des calcaires dolomitiques de Tlemcen est donc bien jurassique et supra-corallien. Seulement rien ne montre jusqu'à présent s'il représente l'étage kimmeridgien ou le portlandien, ou ces deux étages ensemble. Cette dernière hypothèse me semble la plus probable.

La composition minéralogique de l'étage est la suivante : à la base, il commence par une assise de calcaires compactes gris ou bleuâtres, tous un peu magnésiens, assez puissants; les couches sont isolément de médiocre épaisseur; elles sont généralement séparées par de très-petits lits de marnes calcaires grises et schisteuses. Au-dessus se développe une vaste assise essentiellement dolomitique, bien qu'on y rencontre aussi quelques couches ou lentilles calcaires. Ces dolomies sont bien différentes de celles que l'on peut rencontrer dans l'étage liasique ou dans celui des marnes oxfordiennes. Elles sont fort nettement stratifiées, encore qu'en bien des points cette stratification soit difficile à discerner. Mais cette difficulté existe surtout aux surfaces ordinaires d'affleurement et disparaît dans les grandes coupures qui existent en plusieurs points, comme à la Zouïa supérieure, sur les bords de la Tafna, à l'oued Zitoun supérieur, dans les chutes de l'oued Mefrouch; de plus, au lieu d'être blanches à aspect très-gras, elles sont grises et brunes, et d'aspect beaucoup moins gras. Elles offrent des variétés de texture remarquables, sur lesquelles je reviendrai plus loin. Au-dessus de cette grande assise dolomitique, commence la dernière assise de l'étage, laquelle est calcaire et très-puissante aussi; les calcaires de la base de cette assise sont compactes, gris ou bleuâtres, et en tout semblables à ceux de l'assise inférieure; vers le haut, l'épaisseur des couches s'atténue, la structure schisteuse se prononce, et l'on a des calcaires schisteux passant presque à des marnes.

Telle est la composition de l'étage dans les environs de Tlemcen, point où l'observation est le plus facile. Plus au sud, il semble que l'assise dolomitique s'atténue un peu. Il se peut aussi que la localisation relative des dolomies et des calcaires ne soit point partout aussi nette que dans les environs de Tlemcen, car en certains points on peut voir avec certitude une seule et même couche passer par degrés

insensibles du calcaire à peine magnésien à la dolomie la mieux caractérisée.

La dolomie de cet étage se présente sous deux formes bien différentes. Dans la première, elle constitue une roche solide à texture d'ailleurs très-variable, tantôt d'un grain très-serré, tantôt à gros cristaux enchevêtrés les uns dans les autres, tantôt intermédiaire entre ces deux dispositions extrêmes; sous l'autre forme, au contraire, elle est essentiellement pulvérulente. On pourrait croire, au premier abord, que cette dernière forme résulte de l'action des agents atmosphériques sur tout ou partie des roches de la première forme; mais j'ai observé un fait qui prouve nettement qu'il n'en est rien. J'ai rencontré un jour, au milieu de la dolomie pulvérulente, un bloc sphéroïdal de dolomie dure, que j'ai eu la curiosité de casser. Il s'est partagé facilement en deux, et j'ai trouvé tout l'intérieur rempli de dolomie pulvérulente. Ce bloc est conservé à la collection d'Oran. La dolomie en poudre qui le remplissait n'avait aucune communication possible avec l'atmosphère; ce n'était donc pas à l'action des agents atmosphériques qu'elle devait son état pulvérulent. Ces deux formes de dolomies sont enchevêtrées l'une dans l'autre d'une façon absolument capricieuse.

La seule explication possible des faits, c'est que l'une et l'autre se sont déposées ensemble à l'état dur, les deux variétés mélangées suivant les hasards du dépôt, mais que l'une des formes était stable et a persisté, tandis que l'autre était instable et s'est mise en poudre, par suite d'actions moléculaires consécutives au dépôt.

Ce genre de texture a facilité beaucoup l'érosion des dolomies, car l'enlèvement d'une faible quantité de dolomie dure fournissait issue à la pulvérulente bien plus facile à déplacer. En même temps, le squelette dur peut persister pendant une durée fort longue, restant debout et isolé pendant que les parties pulvérulentes ont disparu. La roche se

trouve ainsi affecter l'aspect de ruines anciennes plus ou moins étendues et des formes les plus bizarres. Cet effet est très-frappant, notamment sur la route de Tlemcen à Sebdou, à Bab er Remel.

Cet étage, dont les roches individuelles sont généralement imperméables, constitue partout dans son ensemble une véritable éponge, à cause des innombrables fendillements qui le traversent. Aussi y trouve-t-on beaucoup de cavernes plus un moins développées. La plus remarquable et la plus connue est la grotte des Ahl el Oued, à 12 kilomètres de Tlemcen; on y observe de fort belles stalactites dont la plupart offrent des ressauts horizontaux qui les font ressembler à des troncs de palmiers. Cette disposition, due sans doute à des intermittences dans les sources, donne à cette grotte un caractère pittoresque tout particulier. L'étage qui nous occupe présente aussi une autre particularité remarquable, celle de contenir beaucoup de puits naturels. Il y en a notamment un très-profond sur la montagne qui domine Tlemcen. On l'appelle le Trou aux Pigeons; il a 3 mètres de diamètre à l'entrée, et sa profondeur surpasse 45 mètres, et peut-être de beaucoup. Cette particularité contribue beaucoup, pour sa part, à faciliter l'absorption des eaux pluviales.

On a essayé d'employer comme marbres les calcaires de la base de l'étage. Les colonnes de l'église de Tlemcen y ont été prises; on n'obtient ainsi que des marbres communs, mais qui pourtant prennent assez bien le poli. Dans les environs de Lalla-Maghnia, il y a une couche rose, à pâte très-compacte et très-uniforme, qui pourrait sans doute recevoir une semblable application.

7° Terrain d'Aïn Requiza. — Néocomien inférieur.

Ce terrain n'occupe qu'une faible étendue dans la subdivision de Tlemcen, du moins parmi tout ce qui est reconnu

d'une manière certaine. Il y a un îlot dans les environs de Sebdou, un îlot infinitésimal à Lamoricière, et un autre encore moindre vers le marabout de Sidi Hamza; la principale masse est à l'extrémité orientale de la subdivision, dans les environs d'Aïn Requiza.

L'îlot de Lamoricière n'a guère qu'un hectare d'étendue; il laisse voir des marnes grises entremêlées de minces bancs calcaires qui ne sont guère, à vrai dire, que des couches marneuses un peu plus dures que les autres, et contient beaucoup de fossiles, des ammonites, des nautilus et surtout de nombreux échantillons de l'*Ostrea Couloni*. Sans la présence de ces fossiles, cet îlot se confondrait tout à fait avec les marnes miocènes du voisinage qui l'entourent du côté nord. Du côté sud, il s'appuie sur les couches de calcaire dolomitique qui, en ce point, plongent fortement du côté nord.

L'îlot de Sidi Hamza n'est qu'un reste insignifiant de roches néocomiennes; c'est un simple témoin fort intéressant du reste, avec l'îlot de Lamoricière, car il prouve que la mer néocomienne d'Aïn Requiza s'est étendue dans le golfe formé d'une part par la pointe des Ouled Mimoun, et de l'autre par celle de Fellalis. Ce golfe était donc déjà dessiné dès la fin de la période jurassique; d'autre part, la hauteur à laquelle se trouvent les traces néocomiennes, près du marabout de Sidi Hamza, indique une dénudation de ces couches fort considérable.

L'îlot de Sebdou est formé, vers le bas, de marnes grises avec couches calcaires peu épaisses intercalées de place en place; vers le haut, il est aussi formé de marnes, le plus souvent grises, mais dont quelques-unes sont vertes ou lie de vin, et les couches intercalaires, plus serrées dans le bas, sont formées par des grès rougeâtres. Les marnes les plus basses, ou plutôt les calcaires intercalaires, contiennent beaucoup de polypiers et de baguettes d'oursin. Les relations stratigraphiques de cet îlot avec les calcaires dolomi-

tiques environnants ne sont point faciles à voir. Je les crois analogues à celles des couches de Requiza, c'est-à-dire constituant un dépôt contre une falaise.

Le massif d'Aïn Requiza est de beaucoup le plus développé, et l'on peut y observer deux parties bien distinctes; l'assise inférieure et la plus puissante, où l'on trouve nombre d'exemplaires de l'Ostrea Couloni, est formée de marnes avec couches intercalaires de calcaire, et surtout de grès. On pourrait tout aussi bien la définir comme une assise de grès avec couches intercalaires de marnes, suivant les points où on l'examinerait. C'est évidemment une partie de cette assise qui forme l'îlot de Sebdu. Elle se rapproche beaucoup, par sa composition minéralogique, de l'étage des grès de Bou Médine; toutefois, elle en diffère par une prédominance relative des marnes très-marquées et par la différence de leur coloration; car dans les couches de Requiza, le gris plus ou moins jaunâtre domine beaucoup.

La deuxième assise du terrain d'Aïn Requiza est formée par des calcaires et des dolomies minéralogiquement indiscernables d'avec ceux de Tlemcen; de sorte que l'ensemble des deux assises reproduit les deux terrains jurassiques sous-jacents, à la puissance près. A Requiza, en effet, l'ensemble du terrain ne m'a pas semblé dépasser de beaucoup 200 mètres; mais il faudrait de nouvelles observations pour bien élucider les diverses questions qui peuvent se poser à ce sujet. N'ayant point eu occasion de suivre le terrain de Requiza plus au sud, je ne saurais dire s'il comporte ou non une troisième assise.

J'ai marqué sur la carte en bleu rayé de jaune un certain nombre d'îlots secondaires au sud de Sebdu, pour lesquels il y a quelques doutes sur la question de savoir s'il faut les considérer comme jurassiques ou néocomiens. L'un de ces îlots, celui d'El Gor, est grés-marneux; il me semble probable qu'il est néocomien. Les autres sont calcaréo-dolomitiques, et le caractère minéralogique ne peut

être invoqué pour décider de leur âge exact. Toutefois, pour celui de ces îlots qui forme la chaîne du djebel Sidi el Abed, je pense qu'il doit être jurassique, à cause de la grande puissance des couches. L'îlot de Siadat el Gor est relevé nettement dans la direction N.-E., qui est celle de la Côte-d'Or. La direction, il est vrai, est un peu courte, ce qui peut laisser quelque incertitude jusqu'à ce qu'on ait pu examiner ce qui se passe sur son prolongement; mais en somme la probabilité est que cet îlot est jurassique. Pour les autres, il faudra de nouvelles observations pour pouvoir assigner une simple probabilité.

8° Grès et marnes de Tahouaret. — Crétacé inférieur.

Je désigne sous ce nom un ensemble assez complexe d'îlots de terrain crétacé inférieur qui se trouvent tant à l'est qu'à l'ouest de la basse Tafna, sur le territoire de la tribu des Ouelhassa et sur celui de Meguennia. Il n'est point douteux qu'ils appartiennent à l'époque crétacée inférieure; cela est suffisamment attesté par les rares fossiles que j'ai pu y recueillir (fragments d'ammonites, traces de rudistes). Mais si ces fossiles ont servi à déterminer l'époque, ils se sont trouvés trop frustes pour une détermination d'âge plus précise. Toutefois il y a lieu de les considérer tous comme au-dessus du néocomien inférieur, car d'une part la composition minéralogique de ces îlots n'est point la même que celle du terrain de Requiza, d'autre part, leur situation semble les rattacher aux couches crétacées de Thessala, dont les plus basses appartiennent, je crois, au néocomien supérieur ou aptien. C'est dans les gorges de Tahouaret que ce terrain est le mieux développé et le plus nettement visible. Voici la coupe que l'on peut y observer. A la partie la plus inférieure qui soit visible, on trouve des alternances de bancs calcaires compactes gris ou bleus avec des marnes schisteuses bleuâtres ou verdâtres, se divisant

spontanément en très-petits fragments, et ressemblant beaucoup soit aux marnes du Slib, surtout telles qu'elles se montrent dans les environs de la mine de Tléta, soit aux marnes aptiennes de Thessala. Immédiatement au-dessus, on rencontre d'autres marnes tirant sur le gris plutôt que sur le bleu, dans lesquelles sont intercalées des couches de grès assez espacées, très-dures, passant souvent à de vrais quartzites. Cette partie ressemble beaucoup à des couches miocènes qu'on voit à peu de distance au sommet de Korinat el Rossel; seulement dans le terrain miocène, les grès sont moins durs et contiennent beaucoup d'*Ostrea crassissima*; leur direction est d'ailleurs très-différente. Au-dessus de ces marnes et grès pseudo-miocènes, on trouve une grande épaisseur de marnes jaunes très-finement schisteuses, contenant de minces couches de calcaires marneux. Toutes les couches décrites jusqu'ici ont ensemble au moins 120 mètres de puissance, dont $\frac{1}{4}$ pour la première assise, $\frac{1}{4}$ pour la deuxième et $\frac{1}{2}$ pour la troisième à peu près.

On n'en voit pas davantage dans les gorges de Tahouaret; mais un peu plus au nord, à Hadjerat el Gat, on trouve une assise assez puissante de grès de duretés diverses, de nuances blanchâtres ou rougeâtres; ses relations avec les précédentes sont masquées par un lambeau de terrain quaternaire qui dissimule certainement une portion des couches de la série. Mais vu les plongées locales, cette assise est certainement supérieure à celles des gorges.

Dans un îlot plus septentrional qui arrive presque sur la rive droite de la Tafna (voir la carte), on retrouve à la base de l'îlot l'assise de marnes jaunes, ou du moins sa partie supérieure. Au-dessus, on trouve une assise d'au moins 40 mètres de puissance de calcaires divers entremêlés de quelques lits de marnes jaunes. Ces calcaires sont, les uns compactes, les autres schisteux, semblant notablement argileux et se délitant en assez grosses aiguilles; la

nuance de ces derniers est souvent plus ou moins noirâtre. Les autres sont blanchâtres à l'extérieur, bleus ou gris à l'intérieur, et contiennent fréquemment des morceaux de silex noir qui se fondent pour ainsi dire dans la pâte calcaire. Ces couches ainsi caractérisées se trouvent aussi dans les îlots qui avoisinent les Traras; seulement, en ce point, elles sont accompagnées de marnes noirâtres qui semblent d'ailleurs n'être qu'une exagération des bancs schisteux de l'îlot précité. La puissance totale y semble plus grande.

Enfin, dans l'îlot le plus voisin de Beni Saf, ce même système de calcaires à silex et de marnes noirâtres ou tout au moins gris noirâtres, passe sous une assise assez puissante de grès semblable à celle d'Hadjerat el Gat.

Les autres îlots contiennent les uns ou les autres de ces systèmes.

En réunissant tous ces faits, on voit que malgré la discontinuité des îlots, et sous réserve des observations minutieuses qui seraient nécessaires pour mettre les faits pleinement en lumière et écarter toute cause de doute, la coupe de ce terrain peut être donnée ainsi qu'il suit, en cinq assises successives, savoir :

- 1° Marnes bleues ou vertes avec calcaires compactes intercalaires;
- 2° Marnes grises avec grès quartziteux intercalaires;
- 3° Marnes jaunes avec calcaires marneux intercalaires;
- 4° Calcaires schisteux ou marnes gris noirâtres avec calcaires à silex;
- 5° Assise de grès blanchâtres ou rougeâtres.

Le tout ayant au minimum 200 mètres de puissance. L'assise n° 4 est seule masquée dans les gorges de Tahouaret. L'assise n° 3 paraît la plus puissante de toutes, autant du moins que l'on peut en juger sans mesures précises.

Il est très-vraisemblable que dans la chaîne qui court du Seba Chioukh au Thessala, il doit exister plusieurs de ces

flots non encore reconnus. J'ai déjà indiqué que l'assise de marnes grises ressemble beaucoup aux marnes miocènes. Leur façon de se déliter offre cependant certaines différences qu'il n'est guère possible de définir par écrit, mais que l'œil saisit au bout de quelque temps d'exercice. Quand on voudra rechercher les flots nouveaux dont je soupçonne l'existence, il sera nécessaire de se livrer d'abord à cette éducation préalable de l'œil, pour ne point rencontrer trop de difficultés dans cette recherche.

9° Calcaires blancs du Beguirra. — Crétacé inférieur.

Ce terrain n'est pas distingué du précédent sur la carte, où tous les deux sont teintés en vert uni; mais le précédent est tout entier au nord et sur les bords de la basse Tafna; celui-ci, au contraire, est tout entier au sud et proche des hauts plateaux; il n'y a donc aucune confusion possible.

Je n'ai pas grand'chose à dire sur ce terrain, que je n'ai pu observer pour ainsi dire qu'en passant et d'une façon fort superficielle. Dans le Mdhal, chaîne secondaire située au sud du djebel Ténouchfi et s'avancant vers la chaîne de Sidi il Abed, il se compose d'une puissante série de grès blancs, au-dessus de laquelle on trouve une série de calcaires blancs, très-doux au toucher et pour ainsi dire savonneux. Ces calcaires sont entièrement semblables à ceux que j'ai pu observer en 1861 à Chebket el Bēda, à l'entrée du Sahara, calcaires dont j'ai rapporté des fossiles qui leur assignent pour époque l'âge de la craie chloritée. Il est donc fort probable que les calcaires semblables du Mdhal sont de cet âge. Toutefois la chose ne sera bien certaine que lorsque de nouvelles observations y auront fait trouver des fossiles.

Autour du Djebel Beguirra, j'ai rencontré des calcaires blancs semblables, plus développés que dans le Mdhal; mais je n'ai pas vu l'assise de grès blancs sous-jacents.

Ces calcaires viennent s'appuyer en discordance sur les flots calcaires dolomitiques.

10° Terrain cartennien. — Miocène.

Au-dessus des couches crétacées inférieures, la série des terrains sédimentaires présente dans la subdivision de Tlemccen une lacune considérable; on saute de suite à l'époque miocène. Seulement cette époque est représentée par deux formations fort distinctes et très-discordantes, qui ont été distinguées et signalées par M. Pomel sur d'autres points de l'Algérie. Il a donné à la plus inférieure le nom de Cartennien et à la suivante celui d'Helvétien, noms que je vais employer d'après lui.

Dans la subdivision de Tlemccen, la formation cartennienne se sépare en deux zones distinctes, dont il me semble convenable de traiter isolément, savoir : la zone méridionale et la zone septentrionale.

1° *Cartennien méridional*. — Cette zone est tout d'un tenant, sauf un petit îlot à Hammam Bou R'ara, îlot d'ailleurs à peine détaché du massif principal. Elle se développe dans la plaine de Marnia et dans celle de la Mouilah, de sorte que rien n'est plus facile que de la distinguer sur la carte de la zone septentrionale, laquelle est formée par les autres flots qui y sont indiqués.

Les couches de la zone méridionale sont généralement assez peu tourmentées et ne s'écartent que médiocrement de l'horizontale. Toutefois, à son bord nord-est, elles sont très-distinctement relevées suivant une ligne partant du marabout de Sidi Bel Kheir et courant parallèlement au cours de la Tafna à son confluent avec la Mouilah. Cette ligne, prolongée au nord, va passer sur le sommet de Djorf el Ahmar et au col de Bab Mesmar, puis sur la crête de Rar el Medjdem et ensuite aux environs du bordj des ouled Aneur, en épousant des accidents du sol remarquables.

Elle est orientée N. 5° E. très-sensiblement et constitue une belle direction appartenant au système du Vercors.

Vers Sidi Bel Kheir et un peu au sud, cette ligne limite très-nettement la zone cartennienne par un plan presque vertical, contre lequel sont venues se déposer les marnes helvétiques. La zone cartennienne a donc formé fond de bassin en ce point. Ce genre de contact paraît être général sur le bord oriental de la zone. Toutefois l'îlot de Hamman Bou R'ara offre le mode de contact le plus ordinaire et passe nettement sous les marnes helvétiques. Les deux formations sont donc nettement discordantes dans cette région; l'Helvétien constitue la formation supérieure, et comme d'ailleurs il est très-sensiblement horizontal, la discordance est due certainement à un mouvement du Vercors parfaitement déterminé.

J'ai reconnu ces faits de très-bonne heure, et comme je savais que les marnes à *Ostrea crassissima* étaient miocènes, mais que j'ignorais encore qu'il existât des couches miocènes plus basses, j'avais été amené d'abord à classer la zone cartennienne dans l'éocène. Mais à la base de cette zone, on trouve dans des grès calcaires, sur le bord de la Tafna, de grandes huîtres rondes que M. Pomel a reconnues comme appartenant à l'époque miocène.

La coupe de la zone est facile à faire en partant des bords de la Tafna et remontant dans la vallée de la Mouilah. La plus basse assise que l'on aperçoive est celle des grès calcaires dont il vient d'être question, laquelle paraît avoir environ 20 mètres de puissance. Sa relation directe avec l'assise suivante est masquée par les marnes helvétiques; mais comme ladite assise reste élevée à l'est du mouvement du Vercors, ce qui se voit très-bien dans l'îlot voisin de Hamman Bou R'ara, je considère comme bien certain que ces grès passent dessous. Ils sont d'ailleurs directement discordants avec les marnes helvétiques qu'ils supportent. Je ne puis donc avoir aucun doute sur leur attribution.

L'assise suivante, à laquelle on ne saurait donner moins de 50 mètres de puissance, est entièrement formée de grès sableux blancs plus ou moins agrégés, contenant de minces couches de marnes blanches, sableuses et fortement salées. Les éléments de ces grès sont parfois assez gros pour faire des poudingues à petits éléments.

L'assise suivante est beaucoup plus puissante que l'assise blanche, sans que je puisse donner pour cette puissance un chiffre même approché. Elle est aussi essentiellement arénacée; mais son aspect est assez différent suivant les points où on l'examine, ce qui n'est du reste que la propriété naturelle de beaucoup de couches arénacées qui varient en même temps que la nature et la grosseur des éléments qui les constituent, suivant qu'on les examine plus ou moins loin des points dont proviennent originairement ces éléments. Ainsi, à Bled Chaba et aux environs, on ne trouve dans cette assise que des poudingues à gros éléments empruntés aux roches secondaires voisines; des poudingues aussi, mais plus atténués occupent la plaine de Marnia; leurs éléments grossissent de nouveau en approchant de la bande secondaire du sud. Sur la rive gauche de la Mouilah, les éléments sont généralement plus atténués encore et l'assise passe à des sables jaunes rougeâtres plus ou moins argileux, contenant vers le haut des couches de grès minces très-faciles à partager en dalles. En allant vers Mazis, on voit peu à peu les éléments grossir, et sur la route de Marnia à Mazis, au point où elle traverse la Mouilah, on a affaire à des poudingues à éléments de moyenne grosseur.

Enfin on trouve au-dessus une assise de puissance médiocre formée par des calcaires plus ou moins fossilifères, alternant avec de petits lits marneux. Ces calcaires, d'ailleurs parfaitement stratifiés, sont généralement caverneux, tantôt ressemblant à du tuf, tantôt compactes et lamelleux, et alors blanc de lait, assez fréquemment siliceux. Cette

assise ne m'a pas semblé constante; on la trouve dans la plaine de la Mouilah, et près de Sidi Zaher, toujours appuyée aux massifs secondaires. On ne la retrouve nullement, au contraire, dans la plaine de Maghnia. Je la regarde comme formée par des récifs côtiers, qui se sont développés là seulement où les conditions de l'époque l'ont permis, et qui correspondent latéralement à la partie supérieure de l'assise arénacée jaune. Cette manière d'être de calcaires tertiaires peut s'observer fréquemment dans l'Helvétien en toute certitude, des coupures naturelles ou artificielles permettent de suivre le passage des calcaires aux sables équivalents. Bien que je n'aie pas eu occasion de faire des observations semblables sur les calcaires cartenniens, je crois que leur allure réelle est la même, et qu'ils constituent aussi des phénomènes locaux et non généraux. En tout cas, on ne trouve rien au-dessus dans la zone cartennienne méridionale.

Cette zone a subi quelques dénudations récentes. Des traces plus ou moins nombreuses montrent, en effet, qu'elle a pénétré autrefois, d'une part jusqu'à Mazis, d'autre part jusqu'à Abla et jusqu'aux silos de Sidi Rahmoun dans la vallée de la Zouïa. Mais ces dénudations ont été locales et ne paraissent pas s'être étendues à la grande plaine des Angades; elles ont été en somme médiocres, et il y en a eu de bien autrement grandes dans la zone septentrionale.

2° *Cartennien septentrional.* — La zone septentrionale comprend d'abord un massif continu appuyé sur le massif de terrains plus anciens des Traras et l'enveloppant à l'est, au nord et au nord-ouest. En outre elle comprend des îlots dans la basse Tafna appuyés sur les îlots crétacés du terrain de Tahonaret qui ont été décrits ci-dessus. L'étendue totale visible est bien moindre que dans la zone méridionale, mais la puissance des couches est bien plus grande.

Le terrain est assez tourmenté dans les Traras, et a subi, outre de vastes dénudations, des dislocations et des dé-

nivellements qui offrent quelques difficultés pour l'établissement d'une coupe suivie. Voici d'abord les principales observations de détail que l'on peut faire.

Si l'on part de Mersa Ahenai et qu'on remonte la vallée de l'oued Reggou sur le versant de la rive gauche, le seul d'ailleurs qui soit accessible, on s'élève continuellement sur une épaisse assise de poudingues à éléments assez gros à la base, mais qui vont pourtant en s'atténuant avec la hauteur. On marche toujours sur cette assise jusqu'aux environs de Marabthin Oulad Sidi Cheikh. Vers le haut les éléments s'atténuent assez pour former de véritables grès parfois rougeâtres, le plus souvent verdâtres, et qui quelquefois, dans ce dernier cas, présentent une grande ressemblance d'aspect avec une roche éruptive verte, altérée à sonaffleurement; sans la stratification, cette ressemblance tromperait certainement plus d'une fois, d'autant plus qu'il y a effectivement dans le massif des Traras trois ou quatre pointements de roches éruptives vertes véritables. Ces grès ou poudingues fins verdâtres se trouvent aussi en lits isolés intercalés çà et là entre les gros poudingues de la base. Ils contiennent parfois de grosses huîtres dont le test est devenu tout noir, sans que la roche encaissante ait subi d'action analogue; divers autres débris fossiles sont devenus noirs aussi. Un banc ainsi pourvu d'huîtres s'observe tout près de l'anse d'Ahenai. La base réelle de cette assise n'est certainement pas visible dans l'anse, et les poudingues qui se trouvent au niveau de la mer sont déjà plus ou moins élevés dans l'assise. Mais la portion visible entre l'anse et les environs de Marabthin ne peut pas être évaluée à moins de 200 à 220 mètres de puissance; la puissance totale de l'assise dépasse donc ce chiffre, et peut-être de beaucoup.

Au-dessus se trouve une assise tout aussi puissante au moins, qui est formée essentiellement de marnes

schisteuses ressemblant à s'y méprendre aux marnes Oxfordiennes quand celles-ci sont grises ou bleuâtres. Toutefois les marnes de notre assise étant un peu sableuses ont, en y regardant bien, un aspect un peu plus âpre, si je puis m'exprimer ainsi. A la longue l'œil s'habitue assez à cet aspect pour le discerner avec facilité. De plus on trouve dans ces marnes, à intervalles plus ou moins larges, des couches de poudingues à éléments fins, dont quelques-unes contiennent de grandes huîtres noires identiques à celle de l'assise inférieure. Cette assise marneuse est très-épaisse; on la suit en continuité depuis le Marabthin, à l'altitude de 242 mètres jusqu'au sommet de Ras en Nadour, à l'altitude de 522 mètres, et elle s'élève encore au delà jusqu'à l'altitude de 660 mètres au moins sur le flanc du Djebel Tadjerah. Comme d'ailleurs dans cette région les inclinaisons sont assez faibles, il n'est pas possible d'évaluer la puissance de l'assise à moins de 300 mètres au plus bas, et je crois qu'elle dépasse très-notablement ce chiffre.

Sur le flanc oriental du Sfyane, cette même assise marneuse, avec quelques bancs isolés de poudingues, se montre en bande mince dirigée à peu près suivant la direction nord-sud, et passant sous les couches helvétiques. Celles-ci, dans les gorges de l'oued Rached, contiennent même des poudingues ou brèches dont quelques éléments sont empruntés au poudingue cartennien; j'en ai notamment reconnu un très-gros fragment sans erreur possible à la présence de grosses huîtres noires. C'est là un fait notable de discordance entre les deux formations.

Sur le flanc nord du Sfyane, dans la vallée de l'oued Trallimet, l'assise marneuse occupe le fond de la vallée; si l'on monte de là vers le marabout de Sidi Abd er Rahman, on rencontre vers le haut de nouvelles couches de poudingues, dont quelques-unes contiennent des huîtres noires; ils sont à éléments de médiocre grosseur et contiennent

des grès verdâtres. Si l'on monte, au contraire, vers Dahar el Ahafsa, on rencontre aussi des poudingues et des grès verdâtres, et tout à fait en haut, une assise de grès quartziteux rougeâtres. Le tout a bien au moins une centaine de mètres de puissance. Une particularité curieuse, c'est que sur les sommets au sud de Dahar el Ahafsa, et sur la même crête, on trouve quelques couches de poudingue dont les éléments sont d'énormes quartiers de calcaire liasique; on prendrait même ces couches pour des calcaires jurassiques, tant ces éléments sont gros et jointifs, si une inspection attentive montrait par places le ciment, et si l'on ne trouvait dans le voisinage immédiat des poudingues à grosses huîtres noires.

Au confluent de l'oued Trallimet et de l'oued Khalloua, on se trouve dans des poudingues avec grès, dont, par parenthèse, une couche à quelque distance en aval de ce confluent contient un petit affleurement ferrifère, lequel n'est qu'une forte imprégnation du grès. En remontant l'oued Khalloua on trouve aussi ces poudingues sur une certaine longueur; mais sur la rive droite de l'oued, ils passent sous une assise de grès quartziteux qui constitue le Dj. Bouslah; elle est semblable à l'assise qui couronne Dahar el Ahafsa, mais plus épaisse, car au Bouslah elle a au moins 100 mètres de puissance. Cette assise a dû avoir une certaine étendue, car il en reste un lambeau au milieu même des calcaires du Sfyane.

En somme, d'après les détails exposés ci-dessus, je crois que l'on peut établir ainsi qu'il suit la coupe du terrain cartennien dans les Traras, savoir:

1° Première assise de poudingues terminée par des grès le plus souvent verdâtres, de faible agrégation, — puissance 200 mètres au minimum;

2° Assise marneuse avec quelques poudingues intercalaires, — puissance 500 mètres au minimum;

3° Deuxième assise de poudingues avec grès peu

agrégés, le plus souvent verdâtres, — puissance environ 100 mètres;

4° Assise de grès quartziteux, — puissance environ 100 mètres.

On est donc conduit à attribuer au moins 700 mètres de puissance à ce terrain. Du reste, on en trouve des lambeaux jusqu'à l'altitude de 770 mètres tout près du point culminant de la crête de Dahar ed Dis. On en trouve aussi des traces à toute hauteur dans la vallée de l'oued Ahenai, de sorte qu'il est évident que cette vallée préexistante dans les schistes anciens a été remplie par le cartennien, et que ce dernier a été presque totalement enlevé par dénudation sur une épaisseur de plusieurs centaines de mètres.

J'ai cité plus haut les points où la coupe est le plus facile à saisir. Du côté occidental du grand îlot schisteux, on ne voit qu'une épaisseur relativement faible des poudingues de l'assise inférieure, et c'est l'assise marneuse qui domine. Je l'avais prise antérieurement pour des marnes jurassiques, en y arrivant du côté de Nemours. C'est pourquoi j'ai été forcé de laisser sur ce point une lacune dans ma carte.

Dans la partie sud-est du massif cartennien des Traras, on voit surtout l'assise marneuse, avec une certaine quantité des poudingues inférieurs, et aussi un peu des poudingues supérieurs, notamment entre le Djorf el Ahmar et sur le flanc ouest du chaînon helvétique de Ras ben Adam; les roches cartenniennes sont en ce point très-rouges, par suite d'infiltrations ferrifères. Cet état est exceptionnel dans le massif des Traras; c'est au contraire la règle dans les îlots de la basse Tafna, dont il ne reste maintenant à faire la description.

Ces îlots se distinguent avant tout par leur intense coloration rouge, à l'exception de celui qui se trouve le premier sur la rive gauche de la Tafna au sud de la grande plâtrière. Celui-là n'est coloré en rouge que tout à fait à sa base.

Le reste se compose d'une alternance de grès tendres, les uns jaunes, les autres rougeâtres (et non pas rouges), les autres verts avec quelques alternances de marnes vertes fort peu épaisses. Ces couches sont très-fortement relevées suivant une direction N. 4 à 5° E. (Vercors) avec plongées à l'est; au point de contact de cet îlot avec le basalte et l'helvétique, du côté nord, ces couches, avec leur forte inclinaison, contrastent fortement avec les strates horizontales de l'helvétique, le tout étant recouvert par le basalte.

C'est une discordance tout à fait classique, et la plus nette que l'on puisse désirer.

Dans les autres îlots comme dans celui-là, les couches sont fortement relevées presque partout suivant la même direction avec fortes plongées à l'est. La succession de strates que l'on y observe est la suivante :

1° Poudingues rouges formés de galets de médiocre grandeur, cimentés par un peu de marne rouge; ces galets proviennent évidemment des roches du terrain de Tahouaret, dont leur intérieur présente tous les caractères; l'intérieur de chaque galet est rougi par une pellicule ferrifère. Ces poudingues ont au moins 20 mètres d'épaisseur, et leurs lits sont séparés par quelques minces couches de poudingues à éléments plus fins, ou même de sables;

2° Alternance d'un très-grand nombre de lits de sables ou grès tendres rouges, d'une petite quantité de couches assez minces de poudingues semblables aux poudingues inférieurs, de quelques lits de marnes rouges, et d'un certain nombre de lits assez minces d'une marne verte; le tout d'une puissance indéterminée, mais qu'on ne saurait évaluer à moins de 100 mètres. Ces lits de marnes vertes, examinés de près, ne m'ont point semblé homogènes; ils semblent formés par la superposition à plat de fragments de marnes détachés d'ailleurs. Ce seraient donc par le fait de véritables poudingues sans ciment à éléments très-petits et plats. Ces lits exceptés, toutes les autres couches sont for-

tement colorées en rouge par l'oxyde de fer, au point de sembler souvent à quelque distance de notables affleurements ferrifères.

Il est évident que ces îlots sont formés par l'une des deux assises de poudingues des Traras, dont les éléments sont très-atténués en raison de l'éloignement des roches dures et du peu de dureté des roches voisines qui ont fourni des débris, le tout coloré accidentellement en dehors du type normal. Mais à laquelle des deux assises les faut-il rapporter? Je pense pour ma part que c'est à la deuxième. Si, en effet, on les rapportait à la première, toute l'assise marneuse et ce qu'elle supporte ayant disparu dans cette hypothèse, il faudrait supposer entre les dépôts cartenniens et les dépôts helvétiques une immense dénudation qui exigerait toute une époque géologique pour avoir pu s'accomplir. Pour ces motifs, je ne pense pas que cette hypothèse soit admissible. Il est vrai que l'assise quartziteuse manque toujours; mais elle n'est pas constante dans le massif même des Traras, et elle peut n'être qu'un facies local du haut de la deuxième assise de poudingues.

Si maintenant nous rapprochons la zone méridionale et la zone septentrionale, que faut-il penser de leurs rapports? Il est évident que dans la zone du nord, rien ne rappelle l'assise blanche si caractéristique dans la zone du sud; mais dans cette dernière zone, si l'on fait abstraction des calcaires considérés comme récifs côtiers, il n'y a au-dessus de l'assise blanche qu'une puissante assise de poudingues avec divers facies locaux. Il paraît naturel de l'identifier à la première assise des Traras, et par suite on est amené à admettre pour l'ensemble du terrain cartennien la coupe que voici :

- 1° Grès calcaires à grosses huîtres rondes, — puissance 20 mètres environ;
- 2° Assise blanche, — 50 mètres au moins;
- 3° Première assise de poudingues, — 200 mètres au moins;

4° Assise marneuse, — 300 mètres au moins;

5° Assise de poudingues (avec assise quartziteuse locale), — 200 mètres environ, ce qui donne une puissance totale d'au moins 800 mètres en chiffres ronds.

Si cette coupe est bien l'expression de la réalité, comme je le crois, les calcaires de la zone méridionale devront donner une faune identique à celle de la première assise des Traras. Ces vues sont donc susceptibles de vérification, et pourront être confirmées ou infirmées par des observations ultérieures.

Je n'insiste pas ici sur les phénomènes d'arrivée du fer dans les îlots de la basse Tafna, ayant traité cette question récemment dans le mémoire sur la région ferrifère des Ouelhassa.

11° Terrain helvétique. — Miocène.

Ce terrain est le plus étendu en surface dans la région du Tell de la subdivision de Tlemçen. Il est le plus souvent peu dérangé et les couches sont généralement peu écartées de l'horizontale. Néanmoins il est fortement relevé sur certains points, notamment à Korn el Rossel, où un mouvement du système de l'Erymanthe l'a redressé avec vigueur; mais ce mouvement, qui se suit bien en direction, ne tarde pas à s'effacer transversalement à sa direction.

L'Helvétien contient de grandes quantités de marnes très-délicates qui s'éboulent presque partout sur les parois des vallées creusées dans ce terrain, de sorte qu'il n'est pas très-facile d'en faire une coupe détaillée. Je crois pourtant qu'en rapprochant toutes les observations, on peut définir ainsi qu'il suit, un peu en gros, il est vrai, la composition minéralogique qu'il présente.

A la base se trouve une puissante assise arénacée; elle débute par des poudingues à gros et moyens éléments qu'on peut observer notamment autour de Sidi Medjahed, à Remchi et au pied oriental de la chaîne des Traras en divers

points. Au fur et à mesure qu'on s'élève dans cette assise, les éléments s'atténuant, les poudingues deviennent plus fins, alternent avec des couches de sable jaune ou de grès tendre jaunâtre, et finissent par laisser ces dernières couches couronner seules l'assise. Cette assise contient quelques lits de marnes grises, d'épaisseur plus ou moins forte; elle est très-fossilifère, on y trouve sur divers points de grands clypeastres, des polypiers et une variété d'*Ostrea crassissima* souvent en forme de poire.

Au-dessus se trouve une autre assise où déjà les marnes dominant, mais alternent pourtant avec un grand nombre de bancs de grès plus ou moins durs, jaunâtres ou rougeâtres, quelquefois blancs et à ciment calcaire. On peut l'observer notamment à Korn el Rossel et dans toute la chaîne de Seba Chioukh, à Aïn Tekbalet, au pied N.-E. de la chaîne de Roumeliah. A Korn el Rossel, les grès contiennent beaucoup d'*Ostrea crassissima* de la variété très-longue et très-étroite.

Au-dessus de cette assise s'en trouve une autre à peu près exclusivement marneuse, qui forme le principal de la plaine de l'Isser et de la Sikkak. Les marnes sont grises, rarement bleuâtres, assez souvent verdâtres. Elles contiennent à l'état sporadique des couches intercalaires de grès minces, souvent divisés en petits cubes, et dont les bords affleurant sur le flanc des vallées ont été plusieurs fois pris à tort pour d'anciennes chaussées romaines; elles contiennent aussi parfois de minces bancs de calcaire tendre ou de minces bancs de poudingue à très-petits éléments. Tout à fait vers le haut, on y trouve deux ou trois couches de poudingues à éléments de quelque grosseur, dont les cailloux roulés sont empruntés au massif jurassique du sud.

Telle est en gros la succession observable dans la subdivision de Tlemcen. L'ensemble est très-puissant, sans que je puisse assigner aucun chiffre précis, ni pour le total, ni

pour chaque assise en particulier. Le tout ne semble point correspondre à la totalité du terrain helvétique, tel que M. Pomel l'a défini sur d'autres points de l'Algérie, mais seulement à la partie inférieure de son système.

Indépendamment de ces traits généraux, l'Helvétien de Tlemcen offre plusieurs particularités intéressantes. Au village de Lamoricière, on peut y observer sur les berges de l'oued Isser des couches de lignite; il y avait là un estuaire qui a été décrit par M. Ville, dans sa *Notice minéralogique*, et qui prouve que la vallée du haut Isser existait déjà à l'époque helvétique. On trouve aussi une ou deux minces couches de lignite dans un lambeau d'Helvétien actuellement situé dans la plaine de Terni, à l'altitude de 1.100 mètres, bien au-dessus de tout le reste de la formation, dont l'altitude maximum est de 850 mètres seulement. Ce lambeau, où l'on trouve à la fois des calcaires à cérithes et des *Ostrea crassissima* longues, se rejoignait autrefois avec les couches de Tlemcen, et formait le bout d'un golfe long et étroit, une espèce de fjord. On peut suivre encore en beaucoup de points, grâce aux trous de pholades, les traces de l'ancien rivage.

Une particularité plus intéressante encore, c'est la présence d'un plus ou moins grand nombre de récifs côtiers formés par des calcaires fossilifères, dont la puissance très-variable offre toutes les dimensions depuis 2 ou 3 mètres jusqu'à 40 ou 50 mètres, suivant les endroits. Ces calcaires sont appuyés à des îlots de terrains antérieurs qui, s'ils ne sont pas toujours visibles au contact même des calcaires, ainsi que c'est le cas au Seba Chioukh, le sont au moins à peu de distance dans le voisinage. On en trouve notamment sur le haut de la chaîne de Sidi ben Kanadil, et sur celle du Ras Emsed qui s'y rattache, ils n'y sont que peu puissants; sur la chaîne de Ras ben Adam, où leur puissance est un peu plus forte; dans la partie N.-E. des Ouelhassa, où se trouvent les surfaces de ces calcaires les plus

étendues de la subdivision de Tlemcen; dans tous ces endroits ils sont au haut de l'assise arénacée inférieure, et dans beaucoup de points on peut les voir passer latéralement aux sables jaunes supérieurs de cette assise. Les plus puissants se trouvent au Dj. Sidi Mellouk et au Seba Chioukh, et là ils font partie de l'assise moyenne et non de l'assise inférieure. On en rencontre une grande formation dans la même chaîne à l'est de la subdivision, et ils y sont très-bien stratifiés; mais là je ne les ai vus qu'en passant, et j'ignore à quelle place exacte il faudrait les placer dans l'étage.

L'assise marneuse supérieure est couronnée à peu près partout où les ravinements ne l'ont pas entamée par une mince couche calcaire d'aspect tout à fait travertineux le plus souvent, mais souvent aussi ne se distinguant pas dans ses cassures des calcaires dont il vient d'être question. Je l'ai longtemps considérée comme quaternaire et récente; mais en réfléchissant qu'elle couronne les plateaux de marnes sans jamais descendre dans les vallées qui y sont creusées, il me semble que cette attribution est difficile à soutenir, car alors elle résulterait nécessairement d'un phénomène antérieur au creusement des vallées actuelles; or j'ai bien lieu de penser que quelques-unes au moins de ces vallées remontent à l'époque pliocène, car elles ont pour phénomène originaire une dislocation du système du Nador qui tombe au milieu de cette époque.

Enfin une autre particularité fort intéressante s'observe dans les couches helvétiques au pied du Fillaoucen, dans la vallée de l'oued Bou Kiou, et jusqu'aux environs du caravansérail de Medehra Guedara; c'est la présence dans les poudingues de cette époque de débris de roches basaltiques ou basaltoïdes du voisinage, tantôt très-atténués, tantôt moyens, tantôt assez gros pour simuler des couches de basalte en place. Comme d'autres basaltes du pays sont certainement quaternaires, il suit de là que ces roches sont

arrivées successivement à diverses époques, et qu'il en existe qui sont antéhelvétiques.

Tout ce qui précède s'applique à la vaste formation helvétique qui s'étend de la limite orientale de la subdivision jusqu'aux Traras, et jusqu'aux montagnes jurassiques du sud de Tlemcen. Mais il y a dans le cercle de Nemours un lambeau important du même terrain dont je dois actuellement dire quelques mots.

Ce lambeau est divisé lui-même en deux îlots, chacun de forme très-compiquée en détail et ne communiquant pas entre eux; l'un borde la mer et contient Nemours, l'autre est plus au sud et contient Nedroma.

L'îlot de Nemours est facile à observer dans les falaises à l'ouest de la ville, dans les ravins et dans les plateaux S.-E. et dans les ravins de l'ouest, notamment dans celui de l'oued Argoub, qui est le deuxième à l'ouest de celui qui touche la ville. Dans les environs immédiats de Nemours, on voit d'abord une espèce de grès calcaire, fossilifère, contenant notamment beaucoup de clypeastes identiques à ceux de Beni Saf; au-dessus une couche assez épaisse de marne bleuâtre, puis au-dessus des sables ou grès tendres plus ou moins agrégés, fournissant sur le flanc de la colline du phare par leur désagrégation un sable jaune très-fin, semblable à celui qu'on voit vers Tenikrent et dans les dunes du sud. Ces sables sont couronnés par une certaine épaisseur de calcaires travertineux sur lesquels repose le phare. On les trouve aussi au haut des falaises qui forment la côte à l'est de Nemours, et en montant vers le Djorf el Agueb, j'y ai rencontré des huîtres qui prouvent que ces calcaires font bien partie du système et sont les homologues des récifs côtiers des environs de Beni Saf. On a donc là bien certainement comme à Beni Saf la partie supérieure de l'assise helvétique inférieure. Si l'on va de Nemours vers l'oued Argoub, on traverse les sables et les calcaires, et en avançant vers l'ouest, on

trouve au-dessous des couches plus inférieures. Elles gardent toujours le caractère arénacé de l'ensemble.

Voici la coupe totale qui se montre dans le ravin de l'oued Argoub :

Sables jaunes à la base; au-dessus un banc de quelque épaisseur de calcaire blanc feuilleté; au-dessus des alternances de calcaires blancs en minces lits, de sables blancs, de sables jaunes et de poudingues à petits éléments; au-dessus une assise de marne gris bleuâtre; au-dessus des sables rouges et jaunâtres avec intercalation d'un poudingue à éléments fournis par des roches basaltiques ou basaltoïdes du voisinage, au-dessus enfin les sables et calcaires terminaux du phare. Des débris basaltiques se trouvent à diverses hauteurs dans les couches. Ce qu'il y a de très-remarquable, c'est qu'à Aïn Kseub, fontaine dans le ravin de l'oued Argoub, ces couches sont dérangées sur une longueur de 150 mètres environ de part et d'autre, par un pointement de basalte qui émerge à peine du fond du ravin. Il y a là une preuve matérielle et palpable de l'existence de roches basaltoïdes de divers âges.

En somme, on ne peut se refuser à reconnaître dans l'îlot de Nemours l'assise inférieure arénacée de l'helvétien, sauf les gros poudingues de la base, ayant seulement un certain facies local qu'elle doit à des couches de calcaire blanc et de sable blanc et à la présence des débris basaltoïdes. Ce dernier fait a son pendant au pied oriental de la chaîne des Traras. Seulement dans l'îlot de Nemours il tient beaucoup plus de place, et ces sortes de débris y sont beaucoup plus abondants dans la portion occidentale de l'îlot.

Dans l'îlot de Nedroma, je n'ai point eu occasion de rencontrer des fossiles, et les calcaires de couronnement sont absents le plus souvent. On en voit pourtant sur certains points, notamment près de Sidi Brahim, où même ce calcaire passe localement à un onyx translucide de moins

belle qualité que celui d'Aïn Tekbalet. Mais à cela près, la coupe, par exemple, sur la rive de l'oued el Azbar, est entièrement semblable à celle de l'oued Argoub. Dans l'oued Tléta même, on aperçoit à la base de gros poudingues qui ne paraissent pas dans l'oued Argoub. Les débris basaltoïdes sont aussi fort nombreux; je crois donc devoir classer ce lambeau dans l'helvétien, bien qu'il ne soit pas en continuité avec le lambeau de Nemours, dont il approche à 1 ou 2 kilomètres de distance, mais sans le toucher, l'oued Razouani ayant enlevé les couches de communication qui ont dû exister autrefois.

En somme, le lambeau helvétien du cercle de Nemours me paraît se rapporter exclusivement à l'assise arénacée inférieure de l'helvétien du cercle de Tlemcen. Ce dernier, dans son ensemble, paraît se rapporter aussi à la partie inférieure de l'helvétien que l'on trouve plus à l'est. Si l'on rapproche ce fait de la manière dont se comportent les couches jurassiques et les schistes anciens, il semble qu'en général on rencontre des couches plus anciennes en allant vers le Maroc.

12° Terrain de Sebdou. — Pliocène.

Le terrain pliocène est peu important dans la subdivision de Tlemcen et se réduit au petit bassin de Sebdou. Celui qui est marqué sur la carte près de Camerata appartient à la subdivision d'Oran, et c'est l'extrémité du terrain de la plaine de Rio Salado que je n'ai point étudié personnellement.

Le terrain de Sebdou est composé à la base d'une épaisseur considérable de poudingues à éléments empruntés aux roches secondaires voisines, et au-dessus desquels se trouve développée une assise de calcaires assez compactes, ayant le facies de calcaires d'eau douce; cette dernière assise occupe la portion orientale de l'îlot; les poudingues se

voient dans la portion occidentale. Ils ont été fortement relevés par deux mouvements : l'un de la direction du Ténare, l'autre de celle du Nador. D'autre part, l'îlot est à cheval sur une ligne de dislocation des Baléares très-remarquable, et n'a aucune part à ladite dislocation. D'après cela, il ne peut être que Sahélien ou pliocène. J'ai admis la dernière attribution, parce que l'îlot se trouve aussi sur le prolongement d'une ligne des Alpes Occidentales qui ne l'a point remué. Mais cette ligne étant assez obscure, l'attribution offre quelque incertitude. Je crois très-probable que de nouvelles observations feront trouver des fossiles dans l'assise calcaire, et que la question d'âge pourra être ainsi jugée en toute certitude.

La direction des Baléares dont il est question ci-dessus est celle d'une grande faille qui affecte le terrain secondaire un peu au sud-ouest de Sebdoù. Elle passe par la corne du Tenouchfi, qu'elle a produite, et sur le sommet principal du djebel Tibidrin, au N.-E. de la plaine pliocène, où elle se fait aussi sentir; elle existe donc de part et d'autre de l'îlot; et si celui-ci était plus ancien, il aurait remué.

La ligne du Nador qui relève l'îlot est très-belle aussi. C'est elle qui a ouvert les gorges de la Tafna, et déterminé la remarquable faille qu'on observe à Djorf en Naçara dans les calcaires jurassiques supérieurs.

13° Terrains des hauts plateaux. — Quaternaire ancien.

Je comprends sous le nom de *quaternaire ancien* le terrain des hauts plateaux et de la plaine qui s'étend entre El Aricha et Sebdoù; les cailloux roulés entre l'Isser et l'oued Chouly, les quelques lambeaux d'alluvions anciennes de la Tafna, le terrain quaternaire du littoral et quelques autres îlots; rien ne prouve qu'il n'y ait pas entre ces terrains des différences d'âge; mais les uns et les autres ont

dû être déposés avant l'époque contemporaine à laquelle se rapportent les alluvions actuelles et les plateaux de tuf dont plusieurs sont encore en voie de formation. Ce sont d'ailleurs des terrains assez anciennement déposés pour avoir subi des érosions considérables ou des mouvements plus ou moins marqués, et ce trait qui leur est commun justifie leur réunion dans ce paragraphe, puisque d'ailleurs je n'ai point d'observations permettant de les différencier sûrement comme époque. Je vais donner successivement quelques détails sur chacun d'eux.

1° *Terrain quaternaire du littoral.* — Ce terrain diffère de tous les autres du groupe en ce qu'il est marin, ce qui lui donne un faciès ressemblant beaucoup aux assises des terrains tertiaires dont la composition minéralogique est analogue. Il n'est point rigoureusement horizontal, et montre sur certains points une pente vers la mer. Mais le phénomène n'est pas assez prononcé pour qu'on puisse en tirer une conclusion quelconque. Comme composition minéralogique, il rappelle absolument l'assise arénacée inférieure de l'Helvétien, soit avec son faciès de l'ouest de Nemours, soit avec celui qu'elle a dans les environs de Tenikrent, par exemple. Seulement les sables semblent avoir une nuance plus rougeâtre. Il présente le premier faciès lorsqu'il contient des débris basaltiques, comme à l'est et à l'ouest de Rachgoun et à Rachgoun même; le deuxième dans les Traras, où, par suite de l'éloignement des basaltes d'appui, on cesse d'y voir de pareils débris. Il est couronné par une assise de calcaires travertineux, tout comme l'assise helvétique elle-même l'est en tant de points; et au-dessus du fort qui commande l'embouchure de la Tafna, on y trouve d'assez nombreux fossiles, entre autres une huître actuellement vivante.

De tous les terrains quaternaires, celui-ci est le seul qui offre une stratification parfaitement nette, la stratification des autres étant nulle ou bien plus ou moins grossière.

Voici l'énumération des couches qui alternent pour le former dans les environs de Rachgoun, tant à l'est qu'à l'ouest :

1° Espèces de pépérinos formés de débris de basalte plus ou moins altérés, les uns très-menus formant des couches minces, les autres moyens, d'autres encore très-gros, et simulant des couches de basalte en place ;

2° Poudingues à petits éléments, grès sableux, ces derniers formant la masse principale ;

3° Mince couches de marnes blanches ou grisâtres, parfois très-calcaires ;

4° Calcaires de couronnement.

C'est sensiblement la coupe de l'Helvétien dans le ravin de l'oued Argoub. Les roches blanches marneuses ou calcaréo-marneuses accompagnent les pépérinos, car de pareilles couches se rencontrent aussi localement dans les portions d'Helvétien de Tlemcen, appuyé au pied oriental des Traras, qui contiennent des pépérinos basaltiques. Elles sont peut-être formées grâce à des résidus de l'altération des roches basaltiques. Celles-ci, en effet, sont plus ou moins profondément altérées dans les pépérinos ; en beaucoup de points, elles sont passées tout à fait à un sable pouzzolanique pulvérulent ou plus ou moins cohérent. On en voit nombre d'exemples à Rachgoun, sur les falaises des côtes voisines, aux environs de Nemours et au pied du Fillaoucen.

Dans les portions de ce terrain situées le plus à l'ouest, au pied septentrional des Traras, les pépérinos basaltiques disparaissent, bien que d'ailleurs le terrain se suive en continuité et que l'on ne puisse douter de son identité. On n'a plus alors qu'une assise arénacée, tellement semblable à l'Helvétien que, dès que la continuité cesse, ce qui arrive pour les trois ou quatre îlots les plus occidentaux, il n'y a vraiment jusqu'ici aucune certitude sur l'attribution d'âge. J'ai attribué ces îlots au quaternaire, parce qu'il

m'a semblé sur les lieux que la continuité avec l'îlot principal avait autrefois existé. Mais cette manière de voir n'est, après tout, rien moins que démontrée. Heureusement que ces îlots sont de très-médiocre importance. On peut évaluer la puissance de ce terrain à 100 mètres.

2° *Cailloux roulés*. — On trouve trois îlots de cailloux roulés ou poudingues à stratification vague sur le bord de la Tafna, aux gorges de Tahouaret. Ils sont évidemment produits par des alluvions de la rivière antérieures à l'époque actuelle. On pourrait les confondre avec des poudingues helvétiques si, justement en ce point, l'Helvétien n'offrait des phénomènes de dislocation assez intenses auxquels lesdits îlots ne participent pas.

Un îlot de cailloux roulés, ou mieux de poudingues, où une certaine stratification se dessine, existe dans les ravins de Lamoricière, entre l'oued Chouly et l'oued Isser. Il peut bien n'être que l'extrémité des poudingues quaternaires de la plaine de Bel Abbès, l'Isser ayant alors emporté les couches de communication. Il se peut aussi toutefois qu'il ait été directement produit par l'oued Chouly à une époque ancienne, indépendamment des poudingues de Bel Abbès.

Enfin deux îlots peu étendus se trouvent au Mekhaïdou et au Dj. Bou Khalfa, aux environs d'El Aricha. Ils émergent au milieu du terrain des hauts plateaux qu'ils dominent notablement. Il est probable qu'en ce point au moins il y aurait à distinguer deux époques dans le quaternaire ancien.

J'ai considéré quelque temps comme quaternaires les cailloux roulés de la plaine des Angades ; mais actuellement je n'y vois plus que l'affleurement des poudingues cartanniens. Partout, en effet, où l'on peut apercevoir une coupe, on voit qu'ils constituent un système extrêmement puissant, et aux limites sud de la plaine, ils passent sous les calcaires des environs de Sidi Zaher.

Il y a toutefois, le long de l'Ouardefou, une bande de

terrain quaternaire sans importance; mais je crois devoir le rapporter à l'époque récente et le considérer comme les alluvions de cette petite rivière.

De même, j'ai cru d'abord que les cailloux roulés qui se trouvent en beaucoup de points du plateau d'Hennaya étaient quaternaires, mais j'ai vu que ce sont des couches de poudingue peu importantes subordonnées à l'Helvétien. Dans cette région, il n'y a donc que le calcaire mince travertineux de couronnement qu'on puisse être tenté de rapporter au quaternaire. Mais j'ai dit plus haut, à l'article de l'Helvétien, que cette attribution me semblait peu probable. C'est d'ailleurs une couche généralement fort mince.

3° *Ilots de l'intérieur.* — On trouve un îlot de calcaires quaternaires assez remarquable au bout de la plaine d'Hennaya à Sidi Khaouen. Ils paraissent avoir été formés tant par la source actuelle d'Aïn Fekerina que par des sources sans écoulement qui existent encore au sommet des mamelons de Sidi Khaouen. Ces calcaires sont stratifiés, mais d'une stratification peu nette; ils semblent assez épais.

A Tlemcen même, on trouve un lambeau quaternaire formé surtout de calcaires à empreintes végétales très-tuffacés. A la base, il y a une brèche très-dure. Ce lambeau peu puissant paraît avoir été plus étendu autrefois qu'aujourd'hui et avoir recouvert la majeure partie du golfe helvétien de Tlemcen. Il a été depuis enlevé en grande partie par dénudation et, outre le lambeau principal sur lequel est assis Tlemcen, on en trouve des témoins çà et là, notamment sur la route d'Hennaya. Le lambeau de Tlemcen supporte les tufs plus récents qui forment les remarquables escarpements de Lalla Setti.

A Tefesra, chez les Beni Senous, on trouve un îlot à poudingues et calcaires travertineux que je rapporte au quaternaire, faute d'y avoir observé aucun phénomène de direction bien marqué. Cette attribution est assez incertaine, et réclamerait de nouvelles études. Il se pourrait

bien, en effet, que cet îlot fût contemporain de l'îlot pliocène de Seb dou.

Un îlot quaternaire très-petit, mais fort intéressant, c'est celui qui contient les carrières de marbre onyx de l'Isser; il n'est point marqué sur la carte. L'onyx est sur ce point une modification du calcaire quaternaire, et non du calcaire helvétien comme à Sidi Brahim. Il est bien plus beau que ce dernier. Ce gisement a eu quelque étendue autrefois, mais il est actuellement très-disloqué, ce qui me le fait rapporter au quaternaire ancien. Je crois que ces dislocations peuvent se rapporter au système du Braz, sans en être complètement sûr.

4° *Terrains des hauts plateaux.* — Ce terrain, qui forme un golfe entre les collines secondaires du sud de Seb dou, le massif du Ouargla, et les chaînes interrompues du Sidi el Abed, et du Nechab, forme de plus toute la surface du haut plateau entre El Aricha et la chaîne du Guettar et de Ktob el Amara, en pénétrant jusqu'au pied des montagnes des Ksours. C'est donc le terrain le plus étendu de la subdivision de Tlemcen considérée dans son ensemble. La seule coupe qui puisse se voir est celle du Chott el R'arbi, où l'on voit en haut 4 ou 5 mètres de calcaire tuffacé, puis 65 mètres de sable rougeâtre, puis au fond du Chott des marnes blanches très-calcaires. Dans le golfe à la limite du Tell, on a creusé à Betticha un puits de 45 mètres; mais je n'en connais point la coupe. Je n'y ai pu observer aucun mouvement quelconque, et ma raison pour le classer dans le présent article, c'est la longue durée de la période qui a été nécessaire pour le creusement du Chott el R'arbi.

14° *Alluvions.* — Tufs contemporains. — Quaternaire récent.

Ces terrains appartiennent tout à fait à l'époque actuelle. Les alluvions, à part une faible bande sur l'oued Ouardou, dont j'ai déjà dit quelques mots plus haut, et qui

n'est point figurée sur la carte, ne se trouvent que sur les bords de l'Isser et de la basse Tafna. Elles n'ont d'importance que comme surface de culture.

Les plateaux de tuf contemporains sont disséminés sur divers points du Tell de la subdivision et y forment un trait apparent et curieux. Ils ont été déposés et se déposent encore verticalement et non horizontalement, et proviennent de l'encroûtement de plantes pendantes par les eaux calcaires. En beaucoup de points, ils ont motivé et motivent encore l'existence de villages indigènes, et cela pour quatre raisons : ils offrent des emplacements à peu près plans au milieu de montagnes abruptes ; ils constituent généralement des positions de défense facile contre les moyens d'attaque indigènes ; ils fournissent un sol dans lequel on peut facilement creuser de très-bons silos qui se maintiennent à merveille, et ne sont pas trop durs à tailler ; enfin il reste toujours peu ou prou des sources qui ont formé le plateau. On trouve là un exemple plus précis qu'il n'est habituel, de relation positive entre les convenances de l'homme et la nature géologique du sol.

C'est surtout dans les escarpements que le dépôt calcaire est absolument tuffacé et d'encroûtement. Au point d'appui sur la roche sous-jacente, ces calcaires sont plus ou moins sableux, et c'est cette circonstance qui constitue un terrain éminemment propre au creusement des silos. Sur plusieurs de ces plateaux, on a creusé aussi de petites cavernes d'habitation, dont quelques-unes sont encore habitées aujourd'hui, notamment dans les environs de Tlemcen. Il est facile de voir d'ailleurs, par l'examen des sources actuelles, que le sable mélangé au calcaire dans ces dépôts a été généralement apporté par les sources elles-mêmes qui l'enlèvent aux formations préexistantes. Aucun de ces plateaux ne porte d'autre trace de dérangement que l'éboulement d'un nombre plus ou moins grand de blocs détachés des escarpements.

DEUXIÈME PARTIE.

ROCHES ÉRUPTIVES.

Les roches éruptives de la subdivision de Tlemcen ne sont point susceptibles d'un classement par âge, premièrement parce que pour la plupart d'entre elles cet âge est trop indéterminé ; deuxièmement parce que des roches identiques, au moins quant à leur aspect extérieur, ont certainement surgi à des périodes successives différentes. Peut-être dans ce cas les nouveaux procédés d'analyse microscopique des roches pourraient-ils servir à arriver à un classement par âge. Ce ne pourra être en tout cas que le résultat d'études ultérieures expressément dirigées dans ce but.

Je me contenterai donc, dans la présente note, de traiter successivement des roches suivant leur nature minéralogique, ainsi du reste que cela se fait d'habitude.

A ce point de vue, on peut distinguer les roches suivantes, savoir :

- 1° Granite ;
- 2° Roches vertes dioritiques ou doléritiques ;
- 3° Gypses et roches connexes ;
- 4° Porphyres.
- 5° Roches basaltoïdes.

1° Granite.

Cette roche forme cinq îlots marqués sur la carte, dont un assez grand ; je sais qu'il en existe au moins un autre sur les flancs du Coudiat Bessam, tout à fait à la frontière ouest du cercle de Nemours, et non loin du Kis.

Des flots marqués, un est isolé et indépendant; il est situé dans le ravin de Bou Abdou, affluent de la Tafna, qui se jette dans cette rivière à Sidi Medjahed, et émerge au milieu des schistes anciens. Le granite y présente la particularité d'être tourmalinifère.

Les quatre autres flots appartiennent certainement à une seule et même masse minérale; ils sont situés aux environs de Nedroma, et offrent des caractères identiques, à l'étendue superficielle près. Le plus grand est le plus oriental; il forme un petit chaînon de 5.600 mètres de long, qui se termine un peu au delà du village de Chebaïba, au marabout Sidi el Hassen. Au sud il est limité par les marnes oxfordiennes de la base du Fillaoucen, au nord, par les schistes anciens de la chaîne de Gueradjem.

Ce granite est généralement presque entièrement désagrégé à sa surface, et réduit en une espèce de sable grossier. Je n'ai pas aperçu de phénomènes métamorphiques à son contact avec les roches environnantes. Il est certainement inférieur aux schistes, car à son bout oriental, il les supporte nettement et visiblement au Coudiat Mebriya. Je pense, d'après cela, qu'il existait déjà lors du dépôt des schistes, et que, par suite, il est fort ancien. Du reste, un autre fait atteste son ancienneté, c'est la grande quantité de débris qu'il a fournie aux poudingues de Beni Menir. Il est à remarquer que ces débris ne se trouvent que dans la partie haute de cette formation. J'infère de là qu'il était primitivement recouvert par une certaine épaisseur de schistes, et que ce n'est qu'après l'enlèvement de ces derniers, qui ont été employés à la formation de la partie inférieure de ces poudingues, que la surface granitique a été attaquée et a pu fournir des éléments à la partie supérieure de ce terrain.

2° Roches vertes dioritiques ou doléritiques.

Ces roches, dans lesquelles je ne comprends pas celles qui sont un simple appendice des dépôts gypseux, ne forment que des flots peu étendus dans la subdivision de Tlemccen. Ce sont des roches compactes que les agents atmosphériques ne paraissent pas avoir sensiblement altérées, ou des roches plus ou moins épidotifères qui ont subi des altérations sensibles.

Les ilots de la première classe sont :

1° Celui de Mouley Abd-el-Kader, qui émerge au milieu du terrain des hauts plateaux en pointe de cône contre laquelle ledit terrain vient s'appuyer sans dérangement, et qui est par suite plus ancien;

2° L'îlot du djebel Mellaha, sur la rive gauche de la Tafna, émergeant au milieu du terrain quaternaire de Tefesra; le terrain contient un peu de gypse aux environs, à l'état très-disséminé. Mais je n'ai point vu nettement que ce gypse fût en relation marquée avec la roche éruptive, qui me semble plus ancienne;

3° L'îlot du djebel Tairerte, dans les environs d'Abla. Il émerge au milieu des schistes anciens qu'il semble avoir bouleversés. Il est extrêmement petit, et non marqué sur la carte;

4° Un îlot au nord un peu ouest du djebel Goleah.

Les autres ilots appartiennent à la deuxième classe; le plus étendu est sur le flanc oriental du djebel Sfyane; le plus petit est à Sidi Safi, il n'a que quelques dizaines de mètres carrés. Ce dernier est antérieur à l'Helvétien, car les calcaires de cet étage, dans les alentours, en contiennent parfois quelques débris.

La petitesse générale de tous ces ilots me porte à penser que je n'ai sans doute pas rencontré tous ceux qui existent, et que de nouvelles observations pourront en faire découvrir d'autres.

3° Gypses et roches connexes.

Les gypses éruptifs ne sont pas rares dans la subdivision de Tlemcen, et sont souvent accompagnés de fragments de roche éruptive verte, sans qu'on voie pourtant d'îlot défini de cette roche. Ces dépôts gypseux n'ont point d'ailleurs l'importance qu'ils acquièrent sur des points orientaux de la province d'Oran.

Le plus marquant de tous, de beaucoup, est celui qui constitue la plâtrière de Rachgoun. Il m'a paru évident, sur place, qu'il est injecté dans le terrain cartennien dont il englobe beaucoup de fragments. Il ne passe point du tout au contraire dans l'Helvétien, qui est immédiatement au-dessus. Ce dépôt particulier est donc de l'âge du Vercors; mais il ne manque pas d'îlots gypseux dans l'Helvétien. Le plus connu est celui de Tellout, qui est associé à une source salée; il a été exploité quelque temps pour les besoins de Tlemcen. Il y en a encore plusieurs autres généralement insignifiants.

Une lentille de gypse a été rencontrée par les travaux souterrains de la mine de Mazis. Elle n'affleure point à la surface.

Un très-petit îlot existe à Teniet el Djips au sud de Sebdou; il surgit dans les calcaires supérieurs du terrain jurassique.

4° Porphyres.

Ce genre de roches est rare dans la région, et les îlots que j'ai positivement reconnus se réduisent à deux; l'un sur le flanc du Skouna; c'est un porphyre blanc verdâtre qui d'ailleurs n'offre qu'un affleurement très-décomposé, de sorte que je n'ai point d'idée bien nette de la roche native. L'autre est un dyke intercalé dans les schistes tout près de la fonderie de Gar Rouban. Une roche semblable

forme la majeure partie de l'un des filons de cette concession, celui qui porte le nom de filon Abeille, dans la vallée d'Allouba, seulement cette dernière est grise et l'autre est blanc-jaunâtre. L'une et l'autre d'ailleurs par leur aspect ressemblent bien plus à des grès qu'à une roche éruptive.

5° Roches basaltoïdes.

Je comprends dans ce groupe des mélaphyres, des basaltes bien certains, comme ceux de la Tafna, et des basaltes qui peut-être mériteraient mieux le nom de trapps, comme ceux de Nemours, ce qui serait à vérifier par de nouvelles études, je leur conserverai toutefois le nom de basalte, parce que c'est là un point non encore éclairci.

Le mélaphyre connu se réduit à deux îlots de roche très-semblable. L'un est à Coudiat Bessam, à la frontière occidentale près du Kis, l'autre supporte la colonne commémorative du massacre de Sidi Brahim, et la montagne a pris parmi les indigènes depuis l'établissement de cette colonne le nom de Ed Dahar Mta el Kerkour. Ce mélaphyre est fort noir à l'intérieur, mais il prend à l'extérieur et sur une épaisseur de quelques millimètres, une couleur terre de Sienna pâle toute particulière, provenant sans doute d'un commencement d'altération à l'air, altération qui d'ailleurs ne va pas plus loin, et ne paraît pas affecter en rien la dureté de la roche. L'un et l'autre îlot sont entièrement semblables sous ce rapport. Celui de Coudiat Bessam est le plus étendu.

Les basaltes sont fort répandus dans la subdivision, mais seulement dans sa partie septentrionale. Ils forment plusieurs gros îlots, et une grande quantité d'îlots plus petits dont beaucoup se réduisent à des pointements de quelques dizaines de mètres carrés. Ils sont de différents âges, et dans les très-gros îlots il est possible qu'il existe réellement des coulées d'âges différents ne se distinguant pas

entre elles, ou qui du moins ne se distingueraient qu'après une étude minutieuse et suivie.

Je ne parlerai guère que pour mémoire du grand îlot d'Aïn Témouchent dont l'extrémité occidentale seule est figurée sur la carte, et qui est situé tout entier dans la subdivision d'Oran. Aux environs d'Aïn Témouchent, il ne paraît pas douteux que les basaltes ne soient de l'époque quaternaire; on en rencontre de vraies coulées en place bien nettement superposées à des couches quaternaires d'eau douce dont l'âge est attesté par les fossiles qu'elles contiennent.

Vient ensuite le gros îlot de la Tafna, partagé en deux par cette rivière, et qui, à part cette interruption, s'étend de l'oued Bou Kourdan jusqu'à la limite orientale des Traras. Autour de cet îlot s'en trouve un assez grand nombre de petits, dont les deux plus notables occupent, l'un le flanc sud du djebel Skouna, l'autre le djebel Nedjaria. Dans tous ces îlots le basalte est très-nettement posé sur l'Helvétien, et lui est par suite postérieur. D'autre part le grand îlot supporte le terrain quaternaire du littoral, tel qu'il a été décrit plus haut, et lui a fourni une très-grande quantité de débris; il lui est donc antérieur, et son âge est compris entre la fin de la période helvétique et le commencement du dépôt quaternaire marin.

Toutefois dans la partie du grand îlot à l'ouest de la Tafna, et dans le petit golfe qui occupe à peu près le milieu de sa limite sud, l'Helvétien dudit golfe contient des débris basaltiques en couches de petits poudingues fins alternant avec des couches blanches, tout comme à Nemours ou au pied des Traras. Mais ce fait est unique sur tout le pourtour du grand îlot, où l'on voit partout ailleurs la nappe basaltique, bien superposée sur l'Helvétien qu'elle ne semble d'ailleurs avoir nullement dérangé. La seule conclusion à en tirer, c'est qu'il se trouve là confondu, dans l'îlot général posthelvétien, une certaine quantité de basalte antéhelvétien.

Ce grand îlot, tant sur l'une que sur l'autre rive de la Tafna, est extrêmement épais dans son milieu, car il s'y est creusé des ravins étroits et très-profonds dont quelques-uns entaillent la masse sur une hauteur de 120 à 140 mètres. Sa surface supérieure a une pente générale vers la mer, très-prononcée surtout sur la partie de la rive droite de la Tafna; là cette surface, qui supporte le quaternaire marin, affleure presque le niveau de la mer qu'elle dépasse seulement de quelques mètres, et il en est de même sur tout le pourtour de l'île de Rachgoun. Cette circonstance met actuellement la falaise quaternaire correspondante à l'abri de l'action des vagues.

Je n'ai pu observer avec certitude au grand îlot, ni dans son voisinage, aucune trace de basalte quaternaire comme celui d'Aïn Témouchent. J'avais cru d'abord en trouver dans les couches semblables à une coulée de laves que l'on aperçoit sur divers points de la falaise dans le quaternaire marin; mais pour toutes celles de ces couches dont j'ai pu suffisamment approcher, je me suis convaincu que ce sont seulement des poudingues ou brèches à très-gros éléments formés par des blocs de basalte. Elles font donc partie du quaternaire au même titre que les autres strates qui le composent, et constituent de vraies couches et non des coulées éruptives. Rien de plus simple, d'ailleurs, que l'existence de ces couches qui sont des dépôts de pied de falaise.

Dans les environs de Nemours, il y a deux îlots principaux, l'un dominant la vallée de l'oued Bou Nou, l'autre occupant la rive gauche de la vallée de l'oued Razouani, et traversé par le principal affluent de gauche de ce dernier oued, à savoir l'oued Taïma, qui vient de Sidi Brahim. Ici les basaltes sont antéhelvétiques, puisqu'ils ont fourni beaucoup de débris aux couches de cette époque. Il est même à remarquer que dans l'oued Taïma, qui entaille très-profondément le massif éruptif, il y a un dépôt d'Hel-

vétien à débris de basalte qui occupe encore actuellement l'une et l'autre rive et s'élève assez haut sur le flanc des escarpements basaltiques sans arriver cependant tout à fait en haut. Cela prouve, à mon avis, que le ravin était déjà entaillé dans la roche éruptive au commencement de l'époque helvétique, soit qu'il l'eût été par les eaux seules, soit, ce qui est plus probable, qu'il résultât de leur action consécutive à l'ouverture d'une grande faille. En tout cas, cela suppose à la roche éruptive une certaine antériorité sur l'époque helvétique, et ces basaltes me semblent devoir être considérés comme franchement antémiocènes. L'Helvétien environnant contient des couches de basalte dont les affleurements sont relevés sur la carte. Si ce sont bien des coulées, il y aurait donc ici des basaltes helvétiques. Mais j'aurais besoin de revoir ces couches pour pouvoir l'affirmer avec certitude, ayant constaté depuis dans le quaternaire de la Tafna des couches qui semblent des coulées au premier abord, et ne sont pourtant que des poudingues, ainsi que je viens de le dire plus haut. En tout cas, il faudrait examiner ces couches une par une, car tel affleurement peut être celui d'un poudingue, tel autre celui d'une coulée en place.

Quoi qu'il en soit d'épanchements basaltiques contemporains de l'Helvétien, il y a certainement au moins un pointement du basalte posthelvétien : c'est celui qui est à Aïn Kseub, au fond du ravin de l'oued Argoub ; j'en ai parlé plus haut à l'article de l'Helvétien.

Sur le pied sud-est de la chaîne des Traras, il n'y a qu'un gros îlot et un certain nombre de petits ; ils ont fourni des débris à l'Helvétien et lui sont par conséquent antérieurs. D'autre part, le gros îlot repose nettement sur les couches carteniennes ; par suite, ces îlots doivent être attribués à la dislocation du Vercors, et leur âge est complètement fixé. Les quelques îlots plus occidentaux du pied des Traras ne laissent voir aucune indication d'âge.

Toutefois, dans le ravin de l'un des affluents de la Mouïlah, rive gauche, j'ai observé un affleurement linéaire basaltique au milieu des couches carteniennes ; donc suivant que cet affleurement, examiné à nouveau, se trouvera être un poudingue ou une coulée, il sera ou de l'époque cartennienne elle-même, ou formé de débris de basaltes antécarteniens et par conséquent antémiocènes.

Il est curieux de remarquer que l'âge des basaltes en général, et sauf certains îlots particuliers, va en augmentant à mesure qu'on va de l'est à l'ouest, relation identique à celle que j'ai constatée plus haut pour les assises stratifiées.

Maintenant que la description des divers terrains que j'ai pu reconnaître et relever se trouve achevée, je puis facilement indiquer les incertitudes des limites qui existent sur la carte et en faire apprécier l'importance.

1° La limite du quaternaire marin avec le basalte qui le supporte est incertaine en raison même de l'existence des poudingues à fragments de basalte qui, fort distincts dans une falaise, ne le sont plus quand on les observe en contact avec du basalte en place qui, lui-même, fournit directement à sa surface plus ou moins de débris. Cette incertitude est en réalité assez étendue, mais me semble assez peu importante ; le plus souvent elle ne pourrait être levée que par des sondages.

2° La limite de l'Helvétien et du Cartennien dans la zone méridionale est affectée d'incertitude dans sa partie nord et dans sa partie sud-est, parce que dans ces deux régions l'assise arénacée non blanche du Cartennien est en contact avec l'assise arénacée helvétique qui lui ressemble beaucoup. Il faudrait une étude locale très-minutieuse pour obtenir dans ces régions un tracé exact, ce qui peut même être impossible sur plusieurs points. Cette incertitude ne

me semble pas non plus très-importante en elle-même, bien qu'elle puisse être très-marquée en étendue effective.

3° Les limites de l'Helvétien du littoral avec les îlots plus anciens qu'il entoure ou sur lesquels il s'appuie, sont affectés également d'une certaine incertitude, surtout au contact de ceux des îlots qui sont marneux ou schisteux, parce que le bord de l'Helvétien est formé de leurs débris à peine agrégés qui se confondent plus ou moins avec les débris propres des roches. Cette cause d'incertitude est bien moins grave que les deux précédentes, et les erreurs qu'elle a pu entraîner sont à peine sensibles à l'échelle de $\frac{1}{400.000}$.

J'ai indiqué plusieurs fois dans le cours de ce travail que des îlots de terrains divers peuvent exister sans avoir encore été aperçus. Cela est vrai surtout pour le terrain crétacé dans la chaîne de Seba Chioukh et pour les schistes de la partie occidentale de cercle de Nemours. Il n'y aura d'autre remède à cela que des explorations nouvelles.

Quant aux lacunes complètes encore existantes, la carte les indique naturellement. La plus intéressante, à remplir est d'abord celle qui existe entre Nemours et les Traras; elle est peu étendue et n'exigera pas grand travail. Ensuite viendrait celle qui est constituée par la partie tout à fait occidentale du cercle de Nemours; mais en raison de la proximité de la frontière marocaine, c'est là, au moins actuellement, un pays difficile à parcourir avec le soin voulu. D'après les résultats obtenus ailleurs, j'estime que cette lacune exigera à elle seule un travail continu sur les lieux d'au moins deux mois.

En somme, pourtant, les lacunes ne sont pas telles que je ne puisse raisonnablement espérer les remplir personnellement quand le service ordinaire le permettra.

TROISIÈME PARTIE.

SYSTÈMES DE DISLOCATIONS.

Outre les traces de plusieurs des systèmes de dislocations déjà entièrement reconnus et définis par M. Élie de Beaumont, on trouve dans la subdivision de Tlemccen des traces bien marquées d'au moins trois autres systèmes nouveaux, dont deux définis par M. Pomel et un par moi, savoir :

1° Le système de Nador, dirigé N. 40° O. environ et tombant au milieu du pliocène;

2° Le système des Braz, dirigé N. 58° O. environ, tombant dans la période quaternaire;

L'un et l'autre définis par M. Pomel, qui, en outre, a fixé l'âge du système du Vercors et celui du système des Baléares et de l'Erymanthe;

3° Le système du Djara, dirigé N. 36° E. environ, que j'ai défini comme direction, mais dont je ne puis fixer l'âge avec une précision complète. Je sais seulement que cet âge tombe entre la fin du miocène et le commencement du Cartennien. Quelques indications me font même penser qu'il serait postpyrénéen, ce qui resserrerait notablement les limites de l'incertitude, mais elles ne sont pas assez sûres.

Je ne dirai rien ici des rapports de ces systèmes avec le réseau pentagonal, ce qui exigerait des développements trop considérables. D'ailleurs je n'ai pu que préparer le travail qui devait me donner le moyen d'introduire dans la mesure des directions et dans leur comparaison une précision suffisante. Je ne puis qu'indiquer dans la masse énorme des mouvements existants les quelques lignes que j'ai reconnues le plus nettement et que je puis d'ores et déjà

rappporter à leur système, au moins avec quelque probabilité. C'est bien peu de chose auprès de ce qu'il y aurait à faire; mais mesurer une direction avec une précision supérieure à $1/4$ de degré, tout en mettant son âge hors de doute, constitue une opération assez compliquée et pour laquelle les mesures de direction de couches à la boussole ne peuvent rendre aucun service, car elles ne peuvent guère donner plus de 2 à 3° d'exactitude. Quoi qu'il en soit, j'indiquerai par système la position des traits qui m'ont semblé les plus saillants.

1° Systèmes anciens antérieurs à la Côte-d'Or.

Les systèmes anciens dont le cercle de comparaison est assez voisin de l'Algérie pour qu'on puisse raisonnablement y rechercher des traces, sont ceux de la Vendée, du Finistère, du Longmynd, du Morbihan, du Westmoreland, du Forez, du nord de l'Angleterre, des Pays-Bas et du Rhin.

Je n'ai eu occasion de rien remarquer d'un peu précis se rapportant à la Vendée, au Morbihan, au Westmoreland, au Forez, aux Pays-Bas et au Rhin, dans le Tell de la subdivision de Tlemcen.

Pour le Finistère, le Longmynd et le nord de l'Angleterre, il me semble qu'il en existe des traces, mais je ne puis être affirmatif à cet égard, parce que ces systèmes sont respectivement à peu près reproduits par les Alpes principales, les Alpes occidentales et le Vercors ou bien la Corse et la Sardaigne. Il serait donc nécessaire, pour s'assurer exactement d'une attribution, de constater rigoureusement qu'une ligne donnée n'affecte point les terrains tertiaires qu'elle rencontre, et de plus d'avoir une ligne assez longue pour s'assurer que la direction est bien rigoureuse. Je n'ai pu remplir aucune de ces conditions pour les directions existant dans les terrains antéjurassiques, et par suite je ne

puis rien affirmer de positif sur l'âge de ces terrains. Toutefois le soupçon seul qu'il existe dans les schistes anciens des Traras des traces des systèmes susdits implique l'hypothèse provisoire qu'ils sont antésiluriens. Voici les quelques faits qui me semblent pouvoir, au moins provisoirement, s'interpréter ainsi, en écartant, d'ailleurs, toute mesure de direction de couches à la boussole, mesures qui me semblent beaucoup trop incertaines dans un terrain aussi tourmenté.

Le djebel Skouna a deux sommets, l'un le plus élevé formé par des calcaires jurassiques, l'autre à peine moins élevé formé par les schistes anciens. Si l'on joint à ce dernier au sommet de Gadet es Semmach, autre îlot schisteux ancien, cette ligne va couper l'îlot schisteux de Sidi Safi et s'y applique très-exactement: 1° sur le petit îlot éruptif qui touche à l'ouest le petit îlot schisteux; 2° sur le bord septentrional de la bande ferrifère exploitée par les anciens. Cette ligne est orientée N. 69° 45' E. à moins de 10' près. C'est la direction du Finistère ou bien celle des Alpes principales, lesquelles sont sensiblement coïncidentes à Sidi Safi. Or cette ligne ne semble pas avoir remué l'Helvétien non plus que les calcaires jurassiques du Skouna. Si ce dernier point était parfaitement sûr, il faudrait nécessairement la rapporter au Finistère, dans l'état actuel des systèmes connus. Malheureusement la vérification est difficile, et je ne puis dire l'avoir obtenue à mon entière satisfaction; de plus il serait possible que quelque système plus méridional, encore inconnu, reproduisit à peu près la même direction, car les exemples de récurrence triple existent (exemple: Vendée, Forez, Ténare). Il faudrait donc un plus grand degré d'avancement de l'étude générale des systèmes pour se prononcer définitivement. Toutefois et dans l'hypothèse où les schistes seraient réellement antésiluriens, cette coïncidence de la direction du Finistère et de celle des Alpes principales (laquelle est une des directions impor-

tantes de l'Algérie) peut expliquer pourquoi l'îlot de schistes de Gar Rouban a, en somme, dans sa longueur, très-sensiblement la même direction générale que les terrains environnants, bien qu'il soit de beaucoup antérieur. Il suffit pour cela qu'il doive son apparition au jour à un mouvement du Finistère, plus ou moins dissimulé d'ailleurs par les nombreux accidents postérieurs.

Dans la même hypothèse, plusieurs concordances de directions analogues s'expliqueraient fort bien par la récurrence qui a ramené justement les directions modernes les plus influentes du pays à reproduire la série des systèmes anciens en ordre inverse (Vendée-Ténare, Longmynd-Alpes Occidentales, etc.).

J'ai remarqué dans l'îlot schisteux des Traras deux lignes qui me semblent appartenir au système du Longmynd, et sont dirigées sensiblement N. 25° E. L'une est assez diffuse, c'est la portion de la crête de Dahar Eddis comprise entre Ras Touerta et Ras el Korinat; l'autre, au contraire, est assez précise. Elle dessine la crête schisteuse allant de Ras el Menara à Ras el Medjera, entre le bassin de l'oued Hanai et celui de l'oued Hammam, affluent de la Tafna; cette ligne, prolongée du côté nord, va passer sur le sommet de Ras el Medjdem, et sur celui de Ras Oued el Rhiba, où justement j'ai observé des couches schisteuses courant N. 20 à 25° E.; elle ne rencontre aucun point marquant sur les terrains modernes plus au nord. Prolongée du côté sud, elle va passer sur le sommet oriental de Bin el Keroun, où j'ai aussi observé dans les couches la direction N. 20 à 25° E. Tout cela donne à cette ligne une assez grande probabilité de bonne direction; or la direction récurrente des Alpes principales, qui a une ligne marquée dans le voisinage, est sensiblement plus rapprochée du nord et orientée N. 23° E.; mais il est vrai que cette ligne s'observe dans des terrains récents et peu tourmentés, et qu'on pourrait penser que dans les schistes la direction pourrait être légèrement dé-

viée. Il serait donc nécessaire de suivre cette ligne dans son parcours au milieu des terrains récents, et d'examiner avec soin si elle les a ou si elle ne les a pas remués.

Je crois voir une trace du système nord de l'Angleterre dans la crête de Rar el Medjdem (où, il est vrai, il passe une belle ligne du Vercors d'orientation peu différente, ce qui rend bien difficile d'obtenir quelque certitude d'attribution pour le système ancien), et surtout dans la partie supérieure du cours de l'oued Ahenai; mais ce sont des lignes bien courtes.

En somme, l'existence réelle de ces systèmes dans les schistes n'offre encore que des probabilités, qui toutefois sont assez fortes pour la ligne principale du Longmynd. La question réclamerait de nouvelles études minutieuses.

2° Système de la Côte-d'Or.

Les traits de ce système sont peu nombreux et généralement courts; cette dernière circonstance est certainement cause que la plupart de ceux qui doivent exister m'ont échappé jusqu'à présent; je ne connais au total que quatre mouvements de cet âge. Le premier est formé par la crête du djebel Guelmanien, dans les Traras; le deuxième passe au pied sud-est du Fillaoucen, entre le djebel Karia et le djebel Nador Kébir; le troisième est au pied nord-ouest du djebel Bou Medrar; le quatrième est sur la chaîne de Siadat el Gor. L'orientation de ces mouvements est N. 44° à 44° 30' E.

3° Système du mont Viso.

Je n'ai eu occasion de reconnaître encore que deux lignes de ce système, toutes les deux dans les Traras, orientées N. 28° 30' O.

La première joint le sommet du Djorf el Ahmar au sommet du djebel Tadjerah.

La deuxième trace la plus grande partie du ravin profondément encaissé de l'oued Asfeter, qui sépare la tribu des Beni Khaled de celle des Beni Menir.

L'une et l'autre de ces deux lignes laissent quelques doutes.

4° Système des Pyrénées.

Ce système ne semble pas avoir laissé, dans la subdivision de Tlemcen, des traces très-accentuées. On peut néanmoins lui rapporter au moins deux lignes assez longues orientées N. 77° O.

La première part de la pointe septentrionale du cap Noé, et dessine la côte jusqu'à Hanaï; elle passe dans les gorges de Tahaouret en y relevant fortement les couches crétaées, et elle est jalonnée au delà par la source thermale de Sidi Abdelli.

La deuxième ligne part d'un des sommets principaux du chaînon de Maghnia, passe par la petite crête de Kerkour Chaoui, au pied du djebel Bou Medrar, et va ensuite au sommet du djebel Nador, point culminant du massif entre Tlemcen et Sebdou.

5° Système du Djara.

Ce système est très-marqué dans les Ksours, où je l'ai aperçu pour la première fois. Il est orienté N. 36° à 37° E. On peut lui rapporter dans le Tell, comme lignes principales :

1° La ligne droite joignant le sommet du djebel Sidi el Abed au sommet du djebel Ouargla, qui, sur son chemin, dessine la crête de Assi Sidi Mohammed, isolée dans la plaine quaternaire;

2° La ligne de crête du chaînon principal de Fellalis, et les accidents existants sur son prolongement à l'entrée des gorges de la Safsaf, près Tlemcen;

3° La ligne du gîte de Mazis, dont le prolongement va passer au sommet du djebel Sfyane, dans les Traras;

4° La crête du djebel Tadjerah;

5° La ligne joignant le djebel Msalah aux îles de Mokren, et dessinant en route la majeure partie du cours de l'oued Amellak.

6° Système de Corse et Sardaigne.

On peut rapporter à cette orientation, qui est de 7 à 8° à l'ouest du nord :

1° L'escarpement ouest dessinant les cascades de la Safsaf;

2° Une faille dans les environs d'Arabiye (Traras), dont le prolongement va dessiner le haut escarpement du djebel Tissafsafin, au-dessus du village de Khemis, chez les Beni Senous.

7° Système du Tatra.

Ce système joue un rôle notable dans la subdivision de Tlemcen; il y est orienté N. 81° E.

Je signalerai :

1° Un grand alignement joignant l'escarpement sud du djebel Taïcheriret, près de la frontière, au djebel Sidi Youcef, dans le cercle de Daya. Il rencontre le djebel Bou Abdous, le djebel Malalle;

2° La crête du djebel Techdit chez les Doui Yahia, dont le prolongement passe au sommet de l'îlot dolomitique de Sidi Medjahed;

3° Une faille passant un peu au sud de Tlemcen, dont le prolongement coupe le sommet de Kerkour Chaoui vers l'ouest, et, vers l'est, va contribuer à dessiner les limites jurassiques près de Lamoricière;

4° Une ligne joignant le djebel Rouméliah à Ras Mouilah; elle constitue à peu près l'axe du grand îlot secondaire compris entre l'Ouardefou et la Mouilah;

5° Une ligne joignant le Djorf el Ahmar dans les Traras au col entre le djebel Zendal et le djebel Taersmouït chez les Msirdas.

8° Système du Sancerrois.

Je rapporte à ce système quelques traits orientés N. 59° E. et qui sont antérieurs au Cartennien. Ils se trouvent parallèles à un côté d'un des triangles géodésiques de premier ordre, Nador Ras Asfour, lequel représente sensiblement l'escarpement nord du Nador. Outre ce grand alignement, on trouve encore :

1° Un alignement joignant le djebel Rouméliah au djebel Bou Medrar. Il va former au delà de la Tafna la remarquable crête dolomitique de Tametmaï ;

2° Un alignement rasant la falaise nord-ouest du cap Noé et jalonné par deux sommets de basalte, le djebel bou Keltoun et le sommet portant l'ancien fort près de Rachgoun, et quelques autres traits moins marqués.

9° Système du Vercors.

Ce système est orienté N. 5° 40' E. très-nettement. J'y signalerai :

1° Une ligne passant par le Coudiat Lebiya, au pied nord de la chaîne de Sidi el Abed, à la corne du djebel Mouafir, au djebel Tamesguida près Tlemcen, dont elle dessine la crête, et allant chez les Ouelhassa, traverser l'îlot cartennien le plus oriental de la subdivision ;

2° Une ligne menée par le djebel Karian et le djebel Goleah chez les Doui Yabia et allant traverser les gorges de Tahouaret, elle a fortement relevé les îlots cartenniens de la basse Tafna ;

3° Une ligne joignant le sommet de R'ar el Medjdem dans les Traras au sommet du Coudiat Debar dont elle dessine la crête, au nord de la plaine de Missiouen ; elle

passer sur le marabout de Sidi bel Kheir près de la Tafna, et dans cette région dessine la falaise cartennienne servant de bord de bassin à l'Helvétien ;

4° Une ligne joignant les djebel Msalah et djebel Filfila chez les Beni Menir, et allant raser l'escarpement occidental du Ras Asfour.

10° Système des Baléares.

Ce système est très-marqué dans la subdivision, et est orienté N. 53° 30' E. environ. Je noterai comme traits principaux :

1° La crête des Traras, du djebel Fillaoucen au Djorf el Ahmar au-dessus de Mazis ; du côté est son prolongement va passer sur le djebel Goleah et le Coudiat et Tin chez les Ouelhassa ;

2° Une ligne joignant le Bou Medrar au col du Tamesguida, où elle forme une belle faille ;

3° Une ligne joignant le djebel Rouméliah à la cime du djebel Mouafir, et allant raser l'escarpement nord du Ras Asfour ;

4° Une grande faille dans la plaine allant de Seb dou à Coudiat Ressay ; son prolongement passe à l'est sur le djebel Tibidrin, à l'ouest sur la corne du djebel Ténouchfi.

11° Alpes Occidentales.

Système orienté N. 25° E. et assez peu accusé dans la subdivision. Je soupçonne l'existence d'une ligne passant par le sommet du djebel Rouméliah et le cap extrême du terrain jurassique dans l'Helvétien au N.-E. de Fellalis. Mais cette existence ne m'est pas encore bien démontrée. Cette ligne traverserait l'îlot de Seb dou.

Deux lignes bien marquées existent dans les Traras. La première dessine la crête helvétique qui borde à l'est le

bassin du haut oued Rached; la deuxième forme la crête de Dahar el Abafsa. Cette dernière est très-voisine de la ligne de Longmynd signalée plus haut.

12° Système du Nador.

Ce système est celui qui a laissé dans la subdivision les traits les plus nombreux et les mieux accusés.

Voici ceux que je connais le mieux :

1° Ligne joignant le djebel Ouargla au djebel Assas et dessinant la courte crête de ce dernier; elle passe au djebel Bouslah dans les Traras et en dessine aussi la crête;

2° La ligne joignant le djebel Sfyane au sommet oriental dominant Teniet el Baroud, dans les environs de Ras el Ma. Elle passe à Meurba dessinant la ligne de partage entre la Tafna et l'Isser;

3° La ligne joignant le sommet du djebel Tadjerah à celui du djebel Nador entre Tlemcen el Sebdo, très-accentuée dans les Traras;

4° La ligne passant par le Nador de Souamria chez les Beni Mishel; son prolongement sud dessine la ligne de partage des eaux entre la Tafna et l'oued Chouly;

5° Ligne de la gorge de la Tafna près Sebdo; elle passe au sommet du djebel Fillaoucen et est très-accentuée dans le massif dolomitique compris entre Tlemcen, Sebdo et la Tafna.

Il existe une foule de traits de détail relevant de ce système, qui, suffisamment étudié, comporterait presque une monographie. L'orientation est N. 40° O.

13° Système des Alpes principales.

Ce système est orienté dans la subdivision N. 69° E. J'y ai noté comme traits principaux :

1° La ligne joignant Gueltet el Kelab, djebel Necissa,

djebel Sidi Abdallah, et dessinant la crête secondaire au sud de Sebdo;

2° Une belle faille dans les gorges de la Zouïa; son prolongement va passer au sommet de Karn Zahra, au-dessus du village de Zahra des Beni Senous;

3° Dans les Traras, la ligne de l'oued Aïn Sekhoun, ou haut oued Rached, qui sépare le massif du Sfyane de celui du Guelmamen.

14° Système du Braz.

Ce système est orienté N. 59° O. Je crois que c'est lui qui a disloqué les marbres onyx de l'Isser.

Comme traits assez bien définis, je n'en puis encore citer que deux, savoir :

1° La ligne joignant le djebel Guelmamen au djebel Mehis, près Lamoricière; elle passe sur l'îlot quaternaire de Sidi Khaouen, et dessine dans les Traras la crête de El Hafa qui joint le massif du Sfyane aux crêtes de Ras el Menara et R'ar el Medjdem;

2° Une grande faille dans la gorge de la Safsaf, près Tlemcen, faille dont le prolongement va passer au sommet du djebel Filfila chez les Beni Menir.

15° Système du Ténare.

Il est orienté dans la subdivision N. 20° 15' O. à peu de chose près. J'y noterai trois lignes remarquables, savoir :

1° La ligne passant par le sommet d'Arabiye dans les Traras; elle dessine le cours du bas oued Kiama, lequel coule au fond d'une profonde fente dans les calcaires du cap Noé;

2° La ligne joignant le djebel Tadjerah au sommet du djebel Bou Medrar et dessinant une des crêtes escarpées de ce dernier. Cette ligne passe aussi à la pointe septentrionale du cap Noé.

3° La ligne joignant le djebel Sfyane au djebel Techdit, chez les Doui Yahia, et dessinant la crête escarpée qui borde à l'ouest le bassin du haut oued Zitoun; elle va passer près de Sebdu et y relève l'îlot tertiaire, relevé aussi par la ligne du Nador, passant par le sommet du Fillaoucen.

En tout 49 lignes généralement bien dessinées, dont toutefois l'étude complète exigerait encore beaucoup de travail pour atteindre le point de perfection dont elle est susceptible.

Alger, le 12 avril 1876.

NOTE

SUR

L'EMPLOI DU ZINC COMME DÉSINCROUSTANT

Par M. BROSSARD DE CORBIGNY, ingénieur des mines.

M. Lesueur, ancien employé des lignes télégraphiques, a présenté à M. le ministre des travaux publics et aussi à l'Académie des sciences un mémoire relatif à l'emploi du zinc métallique comme préservatif des incrustations dans les chaudières à vapeur. L'auteur expose dans ce document par suite de quelles circonstances il a été amené à s'occuper de cette question. En 1861, au Havre, un navire à vapeur ayant été mis en réparation après plusieurs années de navigation, on reconnut avec surprise que tandis que l'un des générateurs, alimenté par l'eau de mer, était presque entièrement oxydé et mis hors d'usage, les deux autres, qui recevaient les eaux du condenseur, étaient en parfait état de conservation. En même temps des entretoises en laiton, appliquées dans l'intérieur du condenseur lui-même, étaient réduites à l'état de squelette spongieux formé seulement de cuivre : le zinc de l'alliage avait donc disparu, et cette disposition semblait intimement liée à l'état de conservation des chaudières. Ce fait donna à supposer qu'on pourrait employer ce métal pour prévenir les incrustations et, à partir de 1873, M. Lesueur s'occupa de vulgariser ce procédé et de le faire employer ou au moins essayer par un grand nombre d'industriels.

Ces essais ont eu lieu principalement à Angers et dans le département de Maine-et-Loire. A raison de ces circonstances, M. le ministre des travaux publics a bien voulu nous charger, par une dépêche du 16 octobre 1876, de suivre de près ces expériences, d'étudier la valeur du pro-

cédé et de rechercher l'explication des phénomènes qui se produisent, ainsi que les meilleures conditions d'emploi.

Nous constaterons d'abord qu'un grand nombre d'adhésions et d'appréciations favorables ont été envoyées par les industriels qui ont essayé l'emploi du zinc. Indépendamment de celles qui sont relatées dans le mémoire, il nous en a été remis plusieurs autres, et les propriétaires des appareils sur lesquels a porté notre examen ont confirmé ces appréciations, sauf de très-rares exceptions dont nous aurons à rechercher la cause.

Nous nous bornons à signaler ces témoignages favorables, pour nous occuper seulement de ce que nous avons constaté par nous-même. Nous examinerons successivement :

- 1° Les faits matériels qui résultent de l'emploi du zinc;
- 2° L'explication qu'on doit en donner;
- 3° L'influence de la nature des eaux;
- 4° Les précautions à prendre dans la pratique.

1° *Mode d'action du zinc.* — L'application du procédé consiste simplement à placer dans la chaudière, soit dans le corps cylindrique, soit dans les bouilleurs, mais toujours dans la partie opposée au foyer, une quantité de zinc métallique, en lingots ou en rognures, à déterminer suivant les cas. La chaudière étant ensuite remplie et mise en marche, on la laisse en activité pendant la période ordinaire, et, lorsqu'on la nettoie, on observe ce qui suit avec les eaux à dépôts calcaires.

Lorsque l'eau employée est peu incrustante, il arrive ordinairement que les dépôts, au lieu de se former en croûte solide et adhérente, restent à l'état de boue liquide : un simple lavage au balai ou à l'aide d'une lance à eau suffit alors pour les enlever. La tête reste nette, non oxydée; on n'a pas besoin de procéder au piquage, ce qui constitue une économie de temps et de main-d'œuvre et ménage en outre la chaudière.

Lorsque les eaux sont fortement incrustantes, elles donnent un dépôt cohérent et pierreux, comme si l'on n'avait pas mis de zinc; mais, ce qui est très-important, ce dépôt n'adhère pas à la tôle; tout en acquérant de la dureté et de l'épaisseur, il peut s'enlever à la main, ou du moins les croûtes se détachent sans grand effort; la tôle reste nette après cet enlèvement suivi d'un lavage et, dans ce cas encore, le piquage est évité.

Quant au zinc lui-même, il serait inexact de dire qu'il a disparu, mais il s'est transformé sur place en une masse blanche et terreuse qu'il est facile de reconnaître au premier abord pour de l'oxyde de zinc. Souvent cette masse d'oxyde a conservé la texture lamelleuse du métal et quelquefois les parties centrales du métal sont encore inattaquées. Il est évident qu'il y a eu une oxydation lente, qui n'a pas toujours eu le temps de s'achever et a produit quelquefois une véritable pseudomorphose du zinc en oxyde de zinc.

Un échantillon provenant des chaudières de la mine de Desert (Maine-et-Loire), alimentées par de l'eau de Loire, nous a donné à l'analyse les résultats suivants :

Eau	1,60
Oxyde de zinc	87,30
Oxyde de fer et alumine	3,80
Sable et argile	1,60
Carbonate de chaux	6,20
— de magnésie	0,50

101,00

Par contre, on ne trouve aucune trace de zinc dissous dans les eaux extraites des chaudières, et l'on n'en trouve que des quantités très-faibles dans les dépôts calcaires provenant des eaux elles-mêmes. Nous avons choisi pour cette dernière recherche le dépôt abondant et solide de la chaudière de l'usine Raynaly, à Angers, alimentée par un puits voisin de la Maine; nous avons trouvé :

Carbonate de chaux.	75,60
— de magnésie.	3,00
Sulfate de chaux.	9,55
Sable et argile.	8,40
Oxydes de fer et de zinc.	4,20
Chlorures.	0,40
	<hr/>
	100,95

Il est indubitable que l'oxyde de zinc n'existe qu'à l'état de mélange produit par entraînement du dépôt métallique dans la circulation d'eau de la chaudière.

Il est donc certain que l'on doit distinguer deux espèces de dépôts se formant dans ces circonstances : l'un provenant des eaux d'alimentation, qui se manifeste comme à l'ordinaire sur les parois chauffées, mais sans y adhérer; l'autre presque entièrement formé d'oxyde de zinc et qui demeure tout entier, ou peu s'en faut, au point même où le métal a été placé.

Les eaux elles-mêmes, extraites au moment du nettoyage, ne contiennent, après filtration, aucune trace de métal. Des échantillons provenant des chaudières Raynaly à Angers, Laboulais à Angers, mines de Désert et Legal à Nantes, ayant été traitées par le sulfhydrate d'ammoniaque, n'ont donné aucune apparence de trouble ni de coloration.

Les résultats ne sont plus les mêmes lorsqu'on opère avec des eaux séléniteuses au lieu d'eaux calcaires. Nous avons constaté ce qui suit aux ardoisières d'Angers, et sur trois chaudières différentes (la Paperie, les Petits-Carreux, l'Hermitage).

Les eaux d'alimentation, généralement puisées dans d'anciens fonds abandonnés, sont extrêmement dures. Le dépôt qu'elles forment consiste essentiellement en sulfate de chaux coloré par un peu d'oxyde de fer : la présence de ce sel dans des eaux qui ne traversent que des terrains schisteux s'explique de la manière suivante : le schiste ardoisier contient de nombreux cristaux de pyrite de fer qui, sous l'influence de l'air et de l'eau, se transforment en sul-

fate de fer. Le sulfate de fer, réagissant à son tour sur la chaux contenue en faible proportion dans le schiste, ainsi que sur quelques filons calcaires qui s'y rencontrent, se transforme en sulfate de chaux ne retenant que des traces de fer; ces traces sont tellement faibles que l'eau elle-même ne se colore pas par le sulfhydrate d'ammoniaque, mais cet oxyde se concentre dans les dépôts et les colore en rose pâle.

Lorsqu'on emploie les eaux sans aucun désincrustant, le sulfate de chaux se dépose sous forme de boue dont une partie seulement adhère aux tôles et forme une croûte très-peu épaisse. Analyse de ce dépôt :

Sulfate de chaux.	88,00
— de fer.	2,70
Argile ferrugineuse et sable.	4,50
Eau.	4,60
	<hr/>
	99,80

L'abondance de la boue gypseuse oblige à nettoyer très-fréquemment (tous les mois ou toutes les six semaines), et l'incrustation n'a pas le temps d'acquiescer de l'épaisseur.

L'addition du zinc n'a donné aucun résultat sérieux : tout au plus a-t-on observé que la croûte était un peu moins épaisse, que sa surface concave, au lieu d'être ondulée, était unie et lisse; mais l'adhérence aux tôles persistait et l'on n'était pas dispensé du piquage. Aussi les exploitants ont-ils abandonné, après plusieurs épreuves infructueuses, des essais qui remontent déjà à plus d'un an. Peut-être n'a-t-on pas employé une dose assez forte de métal; mais si ces eaux, très-chargées de sels incrustants, en exigeaient une proportion trop élevée, il n'y aurait plus d'avantage économique à employer le zinc.

2° *Explication théorique.* — Ce qui précède permet d'établir la théorie du phénomène. M. Lesueur, dans son mémoire, l'explique par une action électrique dont il ne

définit pas bien les effets et qui, au premier abord, ne paraît pas très-bien justifiée; nous croyons néanmoins que cette explication est exacte et peut rendre compte des faits.

Il faut, en effet, partir de ce principe que le zinc n'entre pas en dissolution et, par conséquent, ne vient pas en contact avec les parois de la chaudière. Il n'agit donc pas à la manière d'un enduit ou d'une émulsion qui détruirait mécaniquement l'adhérence. Mais il s'oxyde et ne peut emprunter l'oxygène qu'à l'air dissous dans l'eau d'alimentation ou à cette eau elle-même. La première hypothèse ne conduit à aucune explication satisfaisante; la seconde, au contraire, implique ce qui suit : les deux métaux, fer et zinc, entourés d'eau à une température élevée, constituent un élément de pile à un seul liquide qui décompose lentement l'eau. L'oxygène se porte sur le métal le plus oxydable, le zinc, et l'hydrogène équivalent se dégage à la surface du fer. Il se produit donc sur toute l'étendue de la tôle influencée un dégagement très-faible, mais continu, d'hydrogène; les bulles de ce gaz isolent à chaque instant la paroi métallique de la substance incrustante. Si celle-ci est peu abondante, elle est même pénétrée par ces bulles et réduite en boue; si la proportion en est plus forte, il se forme des incrustations cohérentes, mais qui restent toujours isolées de la tôle et en prennent la forme sans y adhérer.

L'expérience a montré qu'il convenait d'employer, pour chaque période d'activité de la chaudière, environ 1 kilog. de zinc par cheval ou, ce qui revient à peu près au même, par mètre carré de la surface de chauffe. L'équivalent chimique de 1 kilog. de zinc est 30^o,5, ou 350 litres d'hydrogène qui se dégagent ainsi progressivement sur chaque mètre carré de la surface de chauffe, quoique avec une réduction de volume correspondant à la pression interne. Si cette pression est de 5 atmosphères, le volume gazeux sera réduit à 70 litres qui devront ainsi être employés à main-

tenir une mince nappe gazeuse entre la tôle et l'incrustation. Nous croyons que ce chiffre, quoique assurément faible, peut néanmoins justifier l'explication que nous présentons.

Il est d'ailleurs évident, par ce même chiffre, que la présence de l'hydrogène dans la chaudière ne pourra jamais devenir une cause de danger : on n'a pas à redouter qu'il puisse former un mélange dans des proportions explosibles.

Mais comment expliquer qu'avec les eaux séléniteuses des ardoisières d'Angers, le même effet ne se produise plus? Doit-on l'attribuer à la nature plus cohérente du sulfate de chaux pur, ou à l'insuffisance de la dose de zinc employée? Nous ne pouvons, quant à présent, nous prononcer sur ce point : nous nous bornons à rapporter les faits qui précèdent comme établis par l'observation.

L'hypothèse que nous formulons serait d'ailleurs confirmée par le fait suivant, mentionné au mémoire de M. Lesueur, mais que nous n'avons pas été à même de vérifier : le zinc, introduit dans une chaudière incomplètement nettoyée, aurait la propriété de détacher des parois le tartre préexistant. Ce fait s'expliquerait bien par l'action d'un faible dégagement gazeux, soulevant peu à peu les croûtes du tartre et les séparant de la tôle.

3^o *Influence de la nature des eaux.* — Ce qui précède donne déjà une idée de cette influence. Nous la précisons au moyen des observations suivantes :

a. Type eaux douces. Mines de Désert. — Alimentation par l'eau de Loire. Cette eau précipite légèrement par l'azotate d'argent, le chlorure de baryum, l'azotate d'ammoniaque, nullement par l'eau de chaux; elle marque 8½ degrés hydrotimétriques.

L'emploi du zinc à la dose de 700 grammes par force de cheval permet de marcher 3 à 4 mois sans incrustation. Le dépôt formé n'est nullement adhérent et s'enlève par un simple lavage.

Usine Laboulais, à Angers. — Eau de la Maine. Mêmes caractères que l'eau de Loire, un peu plus marqués ; trouble légèrement l'eau de chaux.

Degré hydrotimétrique : 16. Un demi-kilogramme par cheval permet de marcher plusieurs mois. Le dépôt est incohérent et s'enlève par un simple lavage.

Service des eaux de la ville d'Angers aux ponts de Cé. — Mêmes eaux et mêmes résultats que pour la mine de Désert.

b. Type eaux calcaires. Usine Raynaly, à Angers. — Les eaux d'alimentation viennent de la Maine, mais en traversant des remblais de démolition sur 100 mètres d'épaisseur. Précipitent abondamment par les réactifs ordinaires. Degré hydrotimétrique : 40°. L'incrustation, essentiellement calcaire, atteint sur plusieurs points 0^m,02 d'épaisseur (ce qui, par parenthèse, doit conduire à une réduction de la période de nettoyage). Mais le tartre n'est pas adhérent à la tôle et s'enlève facilement. D'ailleurs le zinc a été employé à faible dose, 300 grammes seulement par cheval, en rognures.

Usine Légal, à Nantes. — Eaux semblables aux précédentes, mais seulement à 27° hydrotimétriques. Nous n'avons pas vu cette usine, qui est en dehors de notre service, mais nous savons par une lettre du propriétaire qu'il a été très-satisfait des résultats obtenus sur une chaudière tubulaire de 12 chevaux.

c. Type eaux séléniteuses. Ardoisières d'Angers. — Eaux précipitant abondamment, par l'azotate d'argent, le chlorure de baryum, l'oxalate d'ammoniaque, mais non par l'eau de chaux. Essentiellement séléniteuses et non calcaires, ce qui s'explique par leur origine, abandonnent un dépôt de sulfate de chaux, très-dures ; degré hydrotimétrique, 40° à 45°.

Aucun effet sensible avec des doses modérées de zinc. Il n'a pas été fait d'essais à doses fortes.

Nous n'avons pu étudier deux autres types d'eaux qui

ne se rencontrent pas dans notre service : l'eau de mer et les eaux acides. La première demanderait des observations spéciales ; pour les secondes on ne doit s'attendre à aucun bon résultat. En effet, le zinc doit se dissoudre rapidement dans une proportion d'acide libre qui serait assez élevée pour corroder les tôles, comme on l'observe quelquefois ; au bout de peu de jours le métal aurait disparu, à moins d'en employer des quantités suffisantes pour saturer les eaux d'alimentation, ce qui serait incompatible avec un usage économique.

La nature ou la forme de la chaudière ne paraît pas avoir d'influence sur les résultats. Nos observations ont principalement porté sur des chaudières cylindriques à bouilleurs, mais plusieurs propriétaires de chaudières tubulaires ont attesté les bons résultats obtenus dans leurs appareils.

4° *Détails d'emploi et précautions à prendre.* — L'ensemble de nos constatations tend à faire admettre qu'il vaut mieux employer le zinc en lingots qu'en rognures ou feuilles minces.

Il semblerait que, dans le second cas, l'action électrochimique s'épuise rapidement, parce qu'elle agit sur une trop grande surface ; avec un lingot massif, elle est mieux ménagée et dure tout le temps voulu.

Le métal peut être placé dans toutes les parties de la chaudière, à l'exclusion du coup de feu des bouilleurs. Dans cette région, la masse pâteuse de l'oxyde formé occasionne des brûlures et boursoufflements de la tôle, comme on en a vu des exemples. L'extrémité des bouilleurs opposée au foyer paraît le mieux convenir pour y placer le métal.

La dose à employer dépend naturellement du degré de dureté des eaux et de la période qu'on veut donner aux époques de nettoyage. Dans les circonstances où le procédé donne de bons résultats, la dose de 1 kilog. par cheval doit

être considérée comme un maximum, celle de $\frac{1}{4}$ de kilog., indiquée par l'auteur, ne peut suffire que pour des eaux très-douces ou des périodes très-courtes d'activité.

Il est presque inutile de remarquer que l'emploi du zinc ne peut avoir pour effet de diminuer la *masse* du dépôt fourni par une eau donnée; nous n'en parlerions même pas si quelques industriels ne nous avaient paru s'attendre à la disparition plus ou moins complète de ces dépôts, alors qu'on ne peut compter que sur la diminution de leur cohésion et de l'adhérence aux parois.

D'après quelques industriels (mines de Désert, Heilmann à Mulhouse), on serait exposé à un entraînement de matières pulvérulentes usant les soupapes et robinets. On y remédierait sans doute avec un dôme de vapeur de dimensions suffisantes.

CONCLUSIONS.

Nous formulerons comme il suit les conclusions pratiques du présent rapport.

1° Le procédé préconisé par M. Lesueur paraît rendre des services incontestables avec les eaux calcaires qui ne sont pas trop dures, dont le degré hydrotimétrique ne dépasse pas, par exemple, 25° ou 30°. Les dépôts perdent toute cohésion ou tout au moins n'adhèrent plus à la tôle, dont le piquage est ainsi évité.

2° Avec les eaux séléniteuses à 40° et plus, le résultat est insignifiant.

3° On ne doit également s'attendre à aucun résultat avec des eaux qui contiendraient un acide libre.

4° Le zinc doit être employé de préférence en lingots à la dose de 0^k,250 à 1 kilog. par force de cheval pour une période de plusieurs mois. Il doit être placé à l'opposé du coup de feu et la chaudière doit être munie d'un assez grand dôme de vapeur.

Angers, le 17 mars 1877.

NOTE (*)

SUR L'EMPLOI DES ÉLECTRO-SÉMAPHORES

DE MM. LARTIGUE, TESSE ET PRUDHOMME

POUR LA RÉALISATION DU BLOCK-SYSTEM

Par M. F. CLÉRAULT, ingénieur des mines.

La *sécurité* et l'*activité* de la circulation sur les chemins de fer sont deux conditions essentielles de l'exploitation. Des signaux combinés de manière à concilier ces deux conditions, en quelque sorte antagonistes, réalisent sur les procédés généralement employés un progrès notable. A ce point de vue, il paraît utile de signaler les électro-sémaphores de MM. Lartigue et Tesse. L'emploi de ces signaux est à peu près le même sur les lignes à double voie et sur les lignes à voie unique, mais le deuxième cas étant un peu plus complexe que le premier, il paraît préférable de traiter d'abord le sujet pour les lignes à double voie; il sera ensuite plus facile au lecteur de bien saisir les modifications nécessitées par le service sur les lignes à voie unique. La présente note sera divisée en quatre parties :

1^{re} partie. — Lignes à double voie.

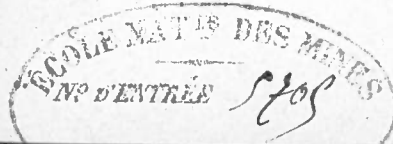
2^e partie. — Lignes à voie unique.

3^e partie. — Application sur le réseau du Nord.

4^e partie. — Considérations générales. Prix d'établissement.

(*) Cette note est extraite d'un rapport présenté à la commission des inventions et règlements de chemins de fer. Elle a été complétée et mise au courant des additions et perfectionnements nouveaux. A deux reprises différentes, M. le ministre des travaux publics a appelé l'attention des compagnies sur les électro-sémaphores (dépêches ministérielles du 25 mars 1876 et du 31 janvier 1877).

TOME XII, 1877. — 5^e livraison.



PREMIÈRE PARTIE.

Lignes à double voie.

Protection des trains par le temps. — Sur la plupart des lignes du réseau français, tout train est protégé en différents points de son parcours pendant un temps déterminé après son passage en chacun de ces points ; les agents des gares, les aiguilleurs des bifurcations, les gardes-barrières, les agents de la voie, etc., etc., reçoivent des consignes à cet effet. En général, on regarde l'intervalle de dix minutes comme convenable pour des trains de même vitesse, mais on réduit cet intervalle lorsque le second train est plus lent que le premier, lorsque les deux trains n'ont à parcourir qu'un tronçon commun de faible longueur, ou lorsque les signaux sont très-rapprochés les uns des autres.

Les signaux appelés disques à distance ne sont eux-mêmes, en général, lorsqu'ils couvrent des trains en marche, que des signaux de protection par le temps, car s'il est vrai qu'un train ainsi couvert est protégé à une distance suffisante pour l'arrêt du train suivant, du moins aussi le signal est effacé un certain temps après le départ du train et sans qu'on sache si ce train est protégé par un signal quelconque.

Emploi des pétards. — Le système de la protection par le temps a été souvent critiqué et il est, en effet, insuffisant dans bien des cas. Aussi les compagnies qui l'appliquent y ont dérogé et ont remédié à quelques-uns de ses inconvénients par l'emploi des pétards ; lorsqu'un train circule assez lentement pour permettre à un homme marchant au pas de le suivre, le conducteur d'arrière descend sur la voie et pose de kilomètre en kilomètre des pétards sur le rail.

Cette mesure, uniformément adoptée en France et sanctionnée par l'administration, constitue une dérogation au principe de la couverture par le temps et est déjà une couverture par la distance, car dès que le train s'est trainé pendant 1 kilomètre à partir de ses premiers pétards, il est protégé à une distance suffisante pour l'arrêt du train suivant, et cette protection est permanente ; mais la permanence absolue de cette protection est précisément un des inconvénients de l'emploi des pétards ; ceux-ci, en effet, restent sur la voie alors même qu'ils ne sont plus utiles à la sécurité du train qui les a posés et ralentissent sans raison la circulation du premier train qui se présente.

Insuffisance de la protection des trains par le temps et de l'emploi des pétards pour les lignes à circulation active.

— Il est des cas nombreux révélés par des accidents effectifs qui montrent que ni l'un ni l'autre de ces procédés n'assure une sécurité suffisante sur les lignes à circulation active. On conçoit en effet facilement un train dont l'allure est trop rapide « pour permettre à un homme marchant au pas de « le suivre » et cependant assez lente pour qu'un autre train en marche normale puisse le rejoindre, même si leur intervalle (temps) était de dix minutes au dernier point de surveillance : un accident arrivé près de Saint-Just (ligne d'Amiens) a réalisé de tout point cette hypothèse.

Le cas est encore aussi grave lorsque le conducteur d'arrière du premier train est endormi. Le train tombe par exemple en détresse, l'intervalle est régulier, mais le conducteur d'arrière reste dans son fourgon ou sa guérite et ne profite pas du temps qui lui est laissé pour couvrir son train.

Souvent, du reste, la détresse est précédée d'une période de ralentissement plus ou moins longue qui déjà réduit les intervalles ; en outre le conducteur d'arrière cherche fréquemment à s'enquérir de la cause d'arrêt avant de protéger

son train, dans la crainte d'être laissé sur la voie en cas de remise en marche.

Enfin, si le premier train est déraillé, ses agents peuvent être blessés et le train ne pas être couvert *en temps utile*, si même il l'est.

En dehors de ces cas, une collision survenue le 26 janvier 1873 près de Busigny a montré combien la sécurité fondée sur l'intervalle de temps écoulé entre les départs de deux trains est illusoire et comment certaines circonstances peuvent rendre inefficace l'observation des prescriptions réglementaires sur ce point. Bien d'autres exemples seraient à citer.

Il ne faut pas assurément généraliser ce qui précède à toutes les lignes; celles dont le trafic est faible, dont les trains sont largement espacés, sont évidemment, à ce point de vue, dans des conditions plus rassurantes. Mais il est sur le réseau français bien des lignes à circulation très-active où, à certaines heures, l'intervalle réglementaire est une grande gêne et où l'on aurait tout intérêt à diminuer *cet intervalle de temps* si l'on était certain que les trains fussent toujours maintenus à *distance* les uns des autres.

Protection des trains par la distance. — Block-system. — La double condition de la sécurité et de l'activité de la circulation est obtenue au moyen du système qui consiste à protéger les trains, non plus *par le temps*, mais *par la distance*. Pour réaliser cette condition, on divise la ligne en sections de 3, 4, 5 kilomètres par exemple, et l'on dispose les signaux de telle sorte que la voie soit toujours fermée *en amont* d'une section tant qu'il y a un train circulant dans cette section. De cette manière le mécanicien qui arrive à l'origine d'une section et trouve le signal ouvert est certain que la voie est libre devant lui sur toute la longueur de la section; réciproquement un train qui, pour une cause quelconque, se *traine* ou *s'arrête*, est

certain qu'aucun autre train ne peut pénétrer dans la section qu'il occupe. Tel est le système que les Anglais ont appelé le *Block-system*; mais quelquefois l'application du principe est moins rigoureuse: le mécanicien qui trouve une section fermée est autorisé à y pénétrer à une vitesse réduite et de telle sorte qu'il puisse arrêter dans l'espace qu'il découvre devant lui; le mécanicien marche alors *à vue* dans toute l'étendue de la section fermée; cette dégénérescence est connue sous le nom de *Block permissive system*. Dans l'un ou dans l'autre des cas précédents, les signaux sont d'ailleurs exactement les mêmes; seule l'interprétation de ces signaux est un peu différente.

Il est inutile d'insister ici sur le surcroît de sécurité qui résulte de l'emploi du *Block-system* puisqu'il supprime toute chance de collision des trains; mais il faut remarquer en outre qu'avec des sections suffisamment courtes et régulières, on peut arriver à réduire l'intervalle des trains et à augmenter le débit de la ligne dans une très-notable proportion.

Les considérations succinctes qui précèdent résument une question regardée à l'étranger comme résolue. En Angleterre, l'exploitation par le *Block-system* s'étendait, au 1^{er} janvier 1875, à plus de 8.000 kilom. de voies ferrées, soit à peu près à la moitié du réseau, et les ingénieurs anglais ont considéré jusqu'ici ce mode d'exploitation comme la condition essentielle de la circulation sur les lignes à grand trafic. En Belgique, à la séance de la Chambre des représentants du 23 avril 1873, le ministre des travaux publics déclarait que le *Block-system* était reconnu comme le seul moyen d'éviter les collisions et leurs conséquences quelquefois désastreuses. Enfin le *Block-system* est rendu obligatoire depuis quelque temps sur les chemins de fer de la Hollande.

Réalisation du Block-system par divers appareils. — La réalisation des principes ci-dessus énoncés exige, ainsi qu'il a été dit, la division de la voie en sections, l'établis-

sement de postes à chaque extrémité des sections et l'installation d'un système de correspondance permettant au poste d'aval d'une section d'avertir le poste d'amont qu'un train engagé dans la section vient d'en sortir.

Les disques ordinaires peuvent servir à obtenir ce résultat. Sur la ligne de Vincennes, par exemple, où les stations sont exceptionnellement rapprochées, le disque de chaque station est placé en vue du levier de manœuvre du poste contigu, en sorte que l'agent n'ouvre une section que lorsqu'il a vu le train en sortir et passer dans la suivante.

La télégraphie électrique ordinaire permet évidemment aussi de résoudre le problème, à cela près que si l'on employait la correspondance usuelle il en résulterait constamment des erreurs qui ralentiraient et souvent entraveraient la marche des trains; aussi, en France et à l'étranger, s'est-on ingénié à disposer des appareils spéciaux annonçant au poste d'aval le passage du train devant le poste d'amont, et au poste d'amont le passage du train devant le poste d'aval. Tous les ingénieurs connaissent les appareils Tyer employés depuis longtemps déjà sur le chemin de ceinture de Paris et en différents points des réseaux des chemins de fer de l'Ouest, de l'Est et de Paris-Lyon-Méditerranée, les appareils Regnault qui ont été appliqués sur la ligne de Versailles (rive gauche), enfin le système Preece employé sur plusieurs lignes anglaises et qui se distingue des précédents en ce que les courants envoyés font apparaître dans le poste même, au moyen d'un sémaphore en miniature, le signal que l'agent doit exécuter au moyen du sémaphore de la voie.

Desideratum signalé par M. Preece. — En dehors des difficultés que peut offrir chacun de ces appareils comme construction, comme entretien ou comme manœuvre, ils présentent tous un inconvénient commun qui diminue notablement les garanties que doit présenter le Block-system; dans tous ces cas, en effet, les signaux faits sur la voie sont

absolument indépendants des appareils de transmission électrique; tel est le desideratum signalé par l'ingénieur W. H. Preece lorsqu'il disait (en 1865): « S'il était possible « de faire fonctionner un signal extérieur par l'électricité, « ce système serait parfait. »

Solution du problème par les électro-sémaphores de MM. Lartigue et Tesse. — Le problème ainsi posé a été résolu par les appareils électro-sémaphoriques de MM. Lartigue et Tesse, que la compagnie du Nord applique depuis trois ans sur la section de Saint-Denis à Creil par Chantilly, et auxquels se rapportent les détails qui vont suivre.

Programme de MM. Lartigue et Tesse. — Il convient tout d'abord d'envisager les conditions essentielles que doivent remplir les appareils placés aux postes qui séparent les sections d'une ligne à double voie exploitée par le Block-system. Elles sont formulées comme suit par les inventeurs des électro-sémaphores :

1° Solidarité des appareils électriques destinés à donner et à recevoir les avis à distance, avec les appareils mécaniques des signaux à vue, et par conséquent unité de manœuvre et pas de confusion possible sur la nature de signaux produits;

2° Simplicité de manœuvre devant se borner à un seul mouvement pour chaque signal;

3° Emploi, le plus restreint possible, de l'électricité : signaux destinés à couvrir les trains en arrière faits mécaniquement et enclanchés sans qu'elle intervienne, son action étant bornée à *annoncer en avant* l'expédition d'un train et à *effacer en arrière* les signaux couvrant la section; si l'électricité vient à faire défaut, signaux maintenus à l'arrêt, ce qui peut produire momentanément des retards dans la circulation des trains en les forçant indûment à ralentir sur une section effectivement libre, mais ce qui, en aucun cas, ne peut constituer un danger en indiquant *voie libre* quand la voie est réellement occupée;

4° Contrôle immédiat de tout signal électrique envoyé, par un signal automatique en retour reçu par l'agent expéditeur aussitôt que l'effet qu'il a voulu produire au poste correspondant est *réellement* produit, mais *alors seulement*; permanence de cet accusé de réception de telle façon que chaque agent connaisse constamment non-seulement l'état de son poste, mais aussi l'état des signaux des deux postes avec lesquels il est en correspondance;

5° Impossibilité d'effacer un signal couvrant l'origine d'une section au départ d'un train, sans l'intervention de l'agent de l'autre extrémité de la section qui, par l'arrivée du train annoncé, a la certitude que la voie n'est réellement plus occupée;

Par contre, réduction au temps rigoureusement nécessaire du délai pendant lequel la voie est maintenue *fermée*, ce délai cessant aussitôt que le train a quitté la section;

6° (spécial à la voie unique; voir deuxième partie, page 198);

7° Simplicité et uniformité des appareils électriques établis dans des conditions de solidité parfaite et aussi peu susceptibles que possible de dérangements, de façon à n'exiger que peu d'entretien et à pouvoir être manipulés par les agents, hommes ou femmes, que l'on emploie d'habitude pour la garde de la voie et des passages à niveau;

8° Avertissement par un signal acoustique de la production de tout signal électrique envoyé d'un poste correspondant (*).

(*) Pendant que la compagnie du Nord faisait établir sur la ligne de Chantilly les électro-sémaphores de MM. Lartigue et Tesse, l'État belge installait les appareils de MM. Siemens et Halske entre Gand et Ostende. Ce système a pour but de réaliser la condition essentielle de la dépendance réciproque des signaux à vue (faits sur la voie) et des signaux électriques (transmis des postes); mais les manœuvres des signaux à vue et celles des envois de courants étant séparées, l'immobilisation du signal à l'arrêt n'a lieu effec-

Réalisation du programme. — Pour réaliser les conditions ci-dessus énoncées, on a séparé les sections les unes des autres par des postes gardés et munis chacun d'un électro-sémaphore. Chaque électro-sémaphore porte essentiellement :

1° Deux *grands bras* mobiles autour d'un axe horizontal parallèle à la voie, ces deux bras placés à la partie supérieure du mât servant respectivement à couvrir les trains sur l'une ou sur l'autre voie à leur passage au droit du poste;

2° Deux *petits bras* ou *voyants* situés beaucoup plus bas que les précédents et qui ne servent qu'à annoncer au garde le passage (sur l'une ou l'autre voie) d'un train au droit de celui des deux postes voisins qui précède le poste considéré (dans le sens de la marche du train);

3° Quatre *appareils* électro-mécaniques; chacun de ces appareils est relié mécaniquement à l'un des bras de l'électro-sémaphore qu'il permet de relever, et électriquement au bras correspondant du sémaphore voisin dont il peut déterminer la chute;

4° Des *timbres* tintant lorsque les grands ou les petits bras tombent sous l'influence du courant venant d'un poste voisin;

5° Une *pile* de 12 éléments Leclanché placée dans une boîte au pied du sémaphore.

Une *double ligne* de fils télégraphiques relie chaque électro-sémaphore à l'électro-sémaphore voisin; un des deux fils sert aux signaux des trains montants et l'autre aux signaux des trains descendants.

tivement que si l'appareil électrique a réellement fonctionné, et si le courant a parcouru tout le circuit. L'annonce des trains en avant est faite par une manœuvre distincte, dont l'effet n'est visible que dans l'intérieur du poste. Enfin certaines manœuvres de l'exploitation courante exigent que l'agent *ouvre son appareil pour modifier à la main la fonction des signaux*, ce qui est considéré en général comme incompatible avec des conditions absolues de sécurité.

Principe fondamental sur lequel reposent les appareils.
Aimant Hughes. — Dans l'électro-sémaphore constitué essentiellement comme il vient d'être dit, l'action principale des *appareils* consiste : 1° à fermer *mécaniquement* la voie et à l'ouvrir *électriquement*; 2° à annoncer le train *électriquement* et à effacer *mécaniquement* le signal d'annonce au moment du passage du train. La fermeture *mécanique* et l'effacement *mécanique* sont effectués *par l'agent du poste au poste lui-même*, et par conséquent cette opération ne présente aucune difficulté spéciale; mais l'ouverture *électrique* de la voie et l'annonce *électrique* du train sont faites *à distance* puisque l'agent qui opère est *à un poste*, tandis que les pièces mises en mouvement sont *au poste voisin*. Or, s'il est facile, avec les appareils électriques ordinaires, de mettre *en mouvement à distance* des pièces mécaniques de faibles dimensions, il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit de mettre *en mouvement à distance* des bras sémaphoriques de grande dimension placés en plein air et soumis à toutes les intempéries; il ne fallait plus songer à employer ici l'action directe de l'électricité, et les inventeurs ont eu recours à l'emploi de l'électro-aimant Hughes.

L'appareil connu sous le nom d'*aimant Hughes* (Pl. V, *fig. 5 bis*) se compose d'un aimant ordinaire en forme de fer à cheval, dont les deux branches NS sont terminées par des cylindres en fer doux entourés de bobines EE dans lesquelles on peut faire passer un courant électrique. En l'absence de tout courant, les cylindres formant pôles de l'aimant supportent un poids P proportionné à la force de l'aimant; mais si l'on fait passer par les bobines EE un courant de sens contraire à celui qui produirait l'aimantation qui existe dans l'aimant NS, on affaiblit celui-ci, et si cet affaiblissement est supérieur à la différence qui existait entre la puissance de l'aimant et le poids suspendu, l'équilibre est rompu, et il y a chute du poids P. La force ainsi mise en jeu est donc seulement limitée par

la force attractive de l'aimant, force qui peut être considérable puisque l'on sait construire aujourd'hui des aimants qui soutiennent plusieurs centaines de kilogrammes. On peut donc, *à distance et électriquement*, déclancher une force considérable, et si, après un effet semblable, un agent ou un moteur quelconque remet les choses dans l'état primitif, le même phénomène pourra être reproduit indéfiniment par des émissions successives de courant de sens déterminé. Tel est l'organe utilisé dans les appareils des électro-sémaphores. — Cette explication du principe sur lequel repose l'appareil était nécessaire pour permettre de comprendre la description qui va suivre et dans laquelle le mot *bras enclanché* veut dire *bras soutenu dans sa position par l'action attractive de l'aimant Hughes*, et le mot *bras déclanché* doit s'entendre *bras qui est tombé de sa position primitive (enclanchement) par suite de l'affaiblissement de l'aimant Hughes par un courant*.

Description d'un électro-sémaphore pour double voie. — Il est nécessaire maintenant d'examiner la construction de l'électro-sémaphore et le rôle *mécanique*, *électrique* ou *électro-mécanique* de ses différents organes.

La *fig. 1* de la Pl. V représente l'ensemble d'un mât électro-sémaphorique; elle est complétée par la légende suivante:

- S. Mât électro-sémaphorique.
- A, B. Grand: bras ou bras supérieurs (signaux pour les mécaniciens) (grand bras pendant B en partie caché).
- a, b. Petits bras ou bras inférieurs (signaux pour l'agent du poste) (le bras b est supposé relevé et caché par le mât).
- M, M'. Appareils électro-mécaniques pour les mouvements sur l'une des deux voies. (Les deux appareils semblables pour les mouvements sur l'autre voie sont de l'autre côté du mât cachés par les premiers.)
- T. Tringle de tirage, communication mécanique entre l'appareil M et le grand bras.
- t. Tringle de tirage, communication mécanique entre l'appareil M' et le petit bras.
- Q, q. Timbres concentriques d'avertissement des déclanchements.

- EE. Échelle fixe pour l'entretien de l'appareil.
 L. Lanterne pour les signaux de nuit.
 P. Poulie sur laquelle passe la chaîne du contre-poids, maintenant la lanterne à hauteur constante (malgré les mouvements de dilatation de la chaîne).

Mât. — Le mât porte à la fois les appareils de la voie montante et ceux de la voie descendante. — Le mécanicien n'a à s'occuper que du signal qui se présente pour lui à la gauche du mât.

Grands bras. — Les bras supérieurs A, B ont la forme des bras ordinaires de sémaphores; ils sont de grandes dimensions (longueur 2 mètres), placés à 8 mètres au-dessus du sol et présentant aux mécaniciens auxquels ils s'adressent une face peinte en rouge pour commander l'arrêt; ces bras offriraient trop de prise au vent s'ils étaient pleins; aussi ont-ils été faits à claire-voie.

§ 1° Le grand bras laissé libre est pendant le long du mât et déclanché; dans cette position les courants émis par le poste d'aval n'ont aucune action sur lui. Il peut être amené mécaniquement au moyen de la tringle T, par l'agent même du poste, à la position horizontale.

§ 2° Le grand bras amené à la position horizontale, comme il vient d'être dit, y reste de lui-même et est enclanché; dans cette position l'agent du poste est sans aucune action sur lui. Il peut être déclanché par un courant émis du poste d'aval.

Les deux conditions précédentes correspondent aux conditions fondamentales du programme. Le § 1° correspond au cas de *voie libre*: dans ce cas, en effet, l'agent du poste doit fermer mécaniquement la voie si un train passe devant lui, et il n'a d'ailleurs aucune communication électrique à recevoir du poste d'aval puisque la section qui les sépare est libre. Le § 2° correspond au cas de *voie fermée*: dans ce cas l'agent du poste ne doit pas pouvoir rouvrir la voie; ce qui est réalisé, puisque le grand bras, une fois horizontal, est enclanché;

mais de plus il faut que le poste d'aval puisse faire *voie libre* au poste considéré par une émission de courant.

Bras inférieurs. — Les petits bras ou bras inférieurs sont de simples voyants n'agissant comme signaux que vis-à-vis de l'agent même du poste; ils sont placés à 4 mètres seulement du sol et peints de couleur terne de manière à ne pas attirer l'attention des mécaniciens.

Le petit bras a des positions inverses du grand bras.

§ 1° Le petit bras laissé libre est horizontal et déclanché; dans cette position les courants émis par le poste d'amont n'ont aucune action sur lui. Il peut être redressé mécaniquement, à la position verticale au moyen de la tringle t, par l'agent même du poste.

§ 2° Le petit bras redressé à la position verticale, comme il vient d'être dit, y reste de lui-même et est enclanché; dans cette position l'agent du poste est sans aucune action sur lui; il peut être déclanché par un courant émis du poste d'amont.

Les deux conditions précédentes correspondent aux conditions accessoires du programme, le § 1° correspond au cas de *train annoncé*: dans ce cas l'agent du poste doit pouvoir effacer mécaniquement l'annonce quand le train passe devant lui, ce qui est réalisé; et il n'a d'ailleurs aucune communication électrique à recevoir du poste d'amont, puisque la voie y est fermée. Le § 2° correspond au cas de *aucun train annoncé*: dans ce cas l'agent du poste n'a pas à effectuer d'action mécanique sur le petit bras qui est enclanché, mais il faut qu'il puisse recevoir l'annonce d'un train par un courant émis du poste d'amont; ce courant produirait, en effet, le déclanchement du petit bras.

Carillon. — En dehors de leur fonction principale de relever mécaniquement les grands bras à la position horizontale et les petits bras à la position verticale, les tringles de tirage transmettent leur mouvement à deux leviers L, l; ces deux leviers au moment des déclanchements

électriques des bras, sont relevés brusquement et font frapper les marteaux R, r sur deux forts timbres, ce qui avertit *mécaniquement* le garde que son sémaphore est modifié *électriquement* par un poste voisin.

Appareils de manœuvre. — On a vu ci-dessus, par la description du jeu des grands et des petits bras, que l'agent du poste a des actions mécaniques à produire à son sémaphore et des actions électro-mécaniques à envoyer aux deux postes voisins.

Les deux actions mécaniques à produire au poste même sont :

- | | | |
|---------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Actions mécaniques. | } | I. Relèvement à l'horizontale et, par suite, enclanchement du grand bras (pour couvrir un train). |
| | | II. Relèvement à la verticale et, par suite, enclanchement du petit bras (pour effacer l'annonce d'un train à son passage). |

Les deux actions électro-mécaniques à produire aux postes voisins sont les suivantes :

- | | | |
|----------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Actions électriques. | } | III. Déclanchement et, par suite, chute à l'horizontale du petit bras du poste d'aval (pour annoncer le train). |
| | | IV. Déclanchement et, par suite, chute à la verticale du grand bras du poste d'amont (pour ouvrir la voie en arrière). |

Ces opérations doivent être faites au passage de chaque train.

Les opérations I et III sont celles qui doivent être effectuées tout d'abord, car elles sont relatives à la section dans laquelle s'engage le train qu'il faut *couvrir* et *annoncer*.

Les opérations II et IV ne doivent être faites qu'après les deux autres puisqu'elles ont pour but *d'ouvrir* en arrière et *d'effacer* l'annonce.

Dans cet ordre d'idées, les opérations I et III ont été attribuées à un seul appareil de manœuvre n° 1 M (Pl. V,

fig. 1) et les opérations II et IV à un seul appareil de manœuvre n° 2 M' (Pl. V, *fig. 1*). Ces deux groupes d'opérations sont semblables, puisqu'ils comprennent chacun un enclanchement sur place et un déclanchement à distance; les deux appareils, appareil n° 1 et appareil n° 2, sont donc exactement semblables.

Un simple mouvement de manivelle de 210° à l'appareil n° 1 réalise les opérations I et III; un simple mouvement de manivelle de 210° à l'appareil n° 2 réalise les opérations II et IV.

En effectuant mécaniquement l'enclanchement du bras de son poste, l'agent accumule la quantité de travail qui, restitué par la chute de ce bras, lors du déclanchement, fera effectuer à l'axe de l'appareil de manœuvre, et aux pièces qui y sont liées, 150° de rotation (*). C'est précisément la condition de rendre ce travail disponible à distance qui est réalisée, comme nous l'avons vu ci-dessus, par l'emploi de l'aimant Hughes.

En dehors de ces actions principales, les choses ont été disposées dans l'appareil de manœuvre de telle sorte que l'agent du poste ait un accusé de réception de toute action qu'il produit sur les postes voisins par le courant qu'il émet. Exemple : comparons les *fig. 9* et *10* de la Pl. V. L'agent a manœuvré l'appareil n° 1 et en faisant passer la manivelle de XM (*fig. 9*) en XM' (*fig. 10*) il a couvert un train et l'a annoncé en avant; en même temps il reçoit l'accusé de réception, conséquence du mouvement du petit bras au poste d'aval, par l'apparition du mot *occupée* dans la fenêtre supérieure de l'appareil à la place du mot *libre*; cette apparition est accompagnée d'un coup de timbre.

Les effets à *produire* étant bien compris, il s'agit de faire

(*) Ainsi la manivelle de manœuvre aura, lors de l'enclanchement, parcouru 210° et lors du déclanchement 150°; elle se retrouvera donc dans sa position initiale après ces deux opérations.

voir comment l'agent les *produit* effectivement au moyen d'un mouvement unique de 210° donné à la manivelle de l'appareil de manœuvre (*).

Le détail de cet appareil est indiqué par les *fig. 3* et *4* de la Pl. V.

Une boîte M, entièrement fermée et dont le fond forme bâti, contient toutes les pièces mécaniques, électriques ou électro-mécaniques. De la boîte sortent : 1° en avant, la manivelle M, et 2° en arrière, une autre manivelle B. Ces deux manivelles sont à angle droit l'une sur l'autre; elles sont toutes deux solidaires avec l'axe XX. La manivelle M est la manivelle de manœuvre, la manivelle B est reliée à la tringle du bras auquel elle communique mécaniquement les mouvements de la manivelle M.

Le même axe X, commun aux deux manivelles M et B, porte : 1° un doigt D formant, avec la manivelle B, un angle de 150° ; 2° une came en hélice C, et 3° un disque O en matière non conductrice (bois, ébonite, etc.) avec touches métalliques. Un cliquet W indépendant de l'axe s'oppose à tout mouvement de rotation de gauche à droite; ce cliquet pénètre dans deux entailles à rochet pour deux positions déterminées de la manivelle B, l'une verticale, l'autre à 210° environ.

Autour d'un second axe de rotation F peut tourner un système composé de deux règles prismatiques faisant entre elles un angle invariable. Mais ces deux règles ne sont pas dans le même plan; l'une d'elles, J, est dans le plan de la came C dont il a été parlé plus haut; l'autre *r* est dans le plan du doigt D. Une tige à vis Z permet de limiter la chute de la règle J.

La règle J porte une tige filetée S sur laquelle se promène un couple de contre-poids de réglage. L'anneau d porte une

(*) Dans la description, on a écrit en italiques les indications relativement accessoires.

tringle verticale (non représentée sur la figure), cette tringle sort de la boîte et permet de déclancher l'appareil à la main; cette disposition n'existe que sur les appareils des bras inférieurs des sémaphores pour double voie.

La règle *r* est articulée en U avec une pièce P placée dans le plan du doigt D pour lequel elle forme butoir; c'est sur le butoir P que vient s'appuyer le doigt D lorsque la manivelle B occupe la position à 210° de la verticale. Enfin la règle *r* se termine à sa partie inférieure par une palette de fer doux *p* avec laquelle elle est reliée par une lame de ressort. La palette en fer doux est au contact des pôles d'un électro-aimant Hughes A actionné par le courant négatif.

Le disque O en ébonite tourne solidairement avec l'axe X; il porte des contacts disposés sous des angles convenables et glisse dans son mouvement de rotation entre 4 frotteurs communiquant : le premier avec le pôle positif de la pile, le second avec le pôle négatif de la pile, le troisième avec la ligne (fil de sémaphore à sémaphore), le quatrième avec l'électro-aimant A. Ainsi que cela sera développé plus loin, le commutateur O, suivant sa position, met en relation l'électro-aimant avec la ligne ou l'en isole et envoie sur la ligne du courant positif ou négatif.

Une planche N porte toutes les communications et les isole de la boîte.

En R est représenté un électro-aimant Hughes semblable à A, mais plus faible et actionné par un courant positif; il est d'ailleurs relié au premier avec intervention des pôles; de cette manière, un courant de sens quelconque venant de la ligne affaiblit l'un des aimants et renforce l'autre, et réciproquement. En face des pôles de cet aimant R se présente une palette *f* à ressort, reliée au voyant V et au marteau *t* de telle sorte que, lorsque le courant de sens convenable déclanche la palette *f*, le voyant change de position et le marteau *t* vient frapper sur le timbre. Tout ce système est d'ailleurs relié à la règle J au moyen de la tringle S.

Lorsque la palette *f* quitte l'aimant, la pièce *g* vient en contact avec lui pour le maintenir constamment armé.

K est un commutateur annexe pour la transmission de signaux conventionnels ou dépêches au moyen des fils des sémaphores. Il met à volonté le fil de ligne en communication avec l'appareil ou avec l'un des pôles de la pile en même temps qu'il relie l'autre pôle à la terre.

Z est le paratonnerre interposé dans le circuit.

Effets produits par le mouvement de la manivelle. — Nous allons, au moyen de la description qui précède, rendre facilement compte des effets produits par le mouvement de 210° de la manivelle ; mais afin de simplifier, nous n'indiquerons que plus loin la manière dont sont réalisés les divers envois de courant au moyen de la disposition des touches du commutateur *O*.

Pour fixer les idées, supposons deux postes *F* et *F'* comprenant une section ; admettons que la *fig. 3*, Pl. V, représente l'appareil n° 1 du poste *F* et qu'une figure identique, mais dont les lettres seraient accentuées *P'*, *J'*, etc., représente l'appareil n° 2 du poste *F'*, l'appareil n° 1 de *F* et l'appareil n° 2 de *F'* étant reliés électriquement par le fil de ligne.

La voie est supposée libre. — Le grand bras de *F* est penché et déclanché, le petit bras de *F'* est dressé et enclanché (*).

Dans l'appareil n° 1 du poste *F*, la manivelle *M* est horizontale, la manivelle *B* est verticale (*fig. 4*, Pl. V), et la palette *f* collée contre l'aimant *R* met le voyant *V* au blanc ; il n'y a aucune communication entre l'appareil et la ligne.

Dans l'appareil n° 2 du poste *F'*, la manivelle *M'* est à 210° , le doigt *D'* est appuyé contre le butoir *P'* et la palette *f'* est

(*) Cette symétrie de position est le point de départ des manœuvres ; si, par accident, elle avait été détruite, l'anneau *d* servirait (au moyen de la tringle à poignée mentionnée page 181), à la rétablir.

séparée de l'aimant *r'*, le voyant intérieur est au blanc. Les électro-aimants communiquent avec la ligne.

Dans cette situation, donnons à la manivelle *M* du poste *F* un mouvement de 210° . Ce mouvement produit les effets suivants :

Effets produits directement au poste *F*. — Par le mouvement de la manivelle *M* : 1° l'axe *X*, solidaire avec elle, tourne de 210° ; par suite, la manivelle *B* tourne du même angle, et par l'intermédiaire de la tringle de tirage amène le grand bras du poste *F* à sa position horizontale (*) ; 2° par suite de ce même mouvement, le doigt *D* vient s'appuyer sur le butoir *P* ; 3° l'inverseur *O* décrit 210° , et dans une de ses positions intermédiaires, envoie, au moyen du frotteur communiquant avec la ligne, un courant négatif dans l'appareil n° 2 du poste *F'*.

Effets produits au poste *F'*. — Le courant négatif envoyé du poste *F*, comme il vient d'être dit, trouve l'appareil n° 2 dans la position à 210° , c'est-à-dire le doigt *D'* reposant sur le butoir *P'* ; ce courant négatif affaiblit l'aimant *A'* de cet appareil ; la palette *p'* est rendue libre sous l'action du ressort, la règle *r'* et le butoir *P'* sont entraînés par le poids de la pièce *J'* ; ce mouvement écarte vers la gauche le butoir *P'* contre lequel butait le doigt *D'*, et dès lors rien ne s'oppose plus à ce que le système, entraîné par le poids du bras qui retombe, achève sa rotation, toujours dans le même sens ; l'axe *X'* passe alors de la position de 210° à la position de 360° ou de 0° , qui correspond au petit bras du poste *F'* horizontal, apparent et déclanché.

De plus, par sa chute la règle *J'* a entraîné la tige *S'* qui a fait passer au rouge le voyant *V'* et a recollé la palette *f'* contre l'aimant *R'*.

L'inverseur *O'* participant au même mouvement a d'ail-

(*) Le bras dépasse même cette position et y retombe. Une chaîne limite ce mouvement.

leurs, dans une de ses positions intermédiaires, envoyé vers l'appareil n° 1 du poste F un courant positif; enfin la came C relevant la règle J', produit l'application de la palette p' contre l'aimant A'.

Effets produits indirectement au poste F. — Le courant positif envoyé au poste F, comme il vient d'être dit, affaiblit l'aimant R; la palette f se décolle sous l'action du contre-poids l et le voyant intérieur passe au rouge en même temps que le marteau t frappe sur le timbre T, apportant accusé de réception des signaux aits en F'.

Lorsque la garde en F' donnera un tour de manivelle à cet appareil n° 2, qui a été déclanché par le poste F, il produira des effets absolument symétriques de ceux qui viennent d'être décrits et dont la même explication rendrait compte si l'on y inversait les lettres ordinaires et les lettres accentuées.

Disposition du commutateur. — Ces explications suffisent pour qu'il soit facile de se rendre compte du jeu des appareils, tant au point de vue mécanique qu'au point de vue électrique; il ne sera cependant pas sans intérêt d'indiquer ici comment circulent, dans le commutateur, les courants nécessaires, tant au déclanchement des bras qu'aux signaux en retour. Les fig. 5, 6, 7, 8 de la Pl. V représentent diverses positions du commutateur; les sept touches métalliques sont figurées en A, B, C, D, E, F, G et les quatre frotteurs en L, N, K, P; ces frotteurs fixes sont, l'un sur la verticale de l'axe de rotation, les autres à 50°, 210° et 310° du premier; ils communiquent, le 1^{er} L avec le fil de ligne, le 2^e N avec le pôle négatif de la pile, le 3^e K avec l'appareil, le 4^e P avec le pôle positif de la pile.

La manivelle n'ayant que deux positions fixes que nous désignerons par position n° 1 (XM de la fig. 9, Pl. V) et position n° 3 (XM de la fig. 10, Pl. V), il n'y a aussi que deux positions fixes: position n° 1 et position n° 3 du commutateur.

La position n° 1 (Pl. V, fig. 5) est la position fixe initiale; elle correspond (au même poste) à un bras déclanché (voir § 1^o, page 176) et par suite au cas où l'appareil n'a pas à recevoir de courant du poste voisin; aussi la figure montre-t-elle qu'il n'y a pas communication avec le fil de ligne, de plus les pôles de la pile sont isolés, car il n'y a pas lieu à émission de courant partant du poste considéré.

La position 3 (Pl. V, fig. 7) est la position fixe après manœuvre; elle correspond (au même poste) à un bras enclanché et par suite susceptible d'être déclanché par un courant venant du poste voisin (voir § 2^o, page 176); aussi dans cette position y a-t-il communication de l'appareil avec le fil de ligne; mais les pôles de la pile sont isolés puisqu'il n'y a pas lieu à émission de courant partant du poste considéré.

La manivelle a, entre ses deux positions fixes, deux positions intermédiaires sur lesquelles elle passe sans s'arrêter et qui produisent sur les postes voisins des effets électriques: en allant de la position fixe n° 1 à la position fixe n° 3, elle occupe un instant la position de passage n° 2, et en allant de la position fixe n° 3 à la position fixe n° 1, elle occupe un instant la position de passage n° 4.

La position n° 2 (Pl. V, fig. 6) doit produire le déclanchement du bras au poste voisin; aussi dans cette position y a-t-il envoi de courant négatif dans le fil de ligne.

La position 4 (Pl. V, fig. 8), qui est une position de passage pendant le déclanchement de l'appareil du poste, donne lieu à un envoi de courant positif dans le fil de ligne de manière à produire l'accusé de réception au poste voisin.

Résumé des conditions générales du jeu des appareils précédents. — En définitive, les conditions essentielles du jeu de l'électro-sémaphore qui vient d'être décrit peuvent se résumer comme suit:

1^o La position du bras supérieur d'un poste est solidaire

de celle du bras inférieur du poste correspondant d'aval; tous deux sont effacés ou apparents en même temps.

2° La position d'enclenchement est l'horizontale pour le grand bras (soulevé) et la verticale pour le petit bras (redressé).

3° La position de déclenchement est la verticale pour le grand bras (pendant) et l'horizontale pour le petit bras (rabattu).

4° L'enclenchement est fait mécaniquement et le déclenchement électriquement.

5° Tout déclenchement produit par un courant donne lieu *mécaniquement* à un jeu de carillon au poste où il a lieu et à un accusé de réception à vue et acoustique au poste qui l'a envoyé.

6° La manœuvre se borne pour l'agent du poste à un mouvement de manivelle limité par l'appareil lui-même comme sens et comme amplitude.

7° Le grand bras une fois enclenché (voie fermée) ne peut pas être déclenché par l'agent du poste à moins qu'il ne démonte ou brise son appareil; seul un courant envoyé par le poste d'aval peut produire cet effet.

8° Une communication accessoire a lieu entre les postes au moyen des fils et est sans inconvénient puisqu'elle fonctionne par un courant qui est sans action sur les aimants eu égard au sens dans lequel il passe.

Manœuvre des électro-sémaphores pour double voie dans le cas élémentaire. (Pour plus de simplicité, les *fig. 1, 2, 3* de la Pl. VI n'indiquent que les bras des sémaphores qui se rapportent à la voie de gauche.) — Supposons un train Z parcourant une voie libre XY (*fig. 1*, Pl. VI) — le poste A est le premier poste électro-sémaphorique, B, C, les postes successifs; et représentons sur trois figures distinctes, *fig. 1, 2 et 3* (Pl. VI), les trois positions du train.

1^{re} position *avant* le 1^{er} sémaphore (cas particulier, eu égard au poste initial).

2^e position *au droit* du 1^{er} sémaphore (cas particulier eu égard au poste initial).

3^e position *au droit* du 2^e sémaphore (cas général).

I. *Le train va partir du poste A poste initial* (*fig. 1*, Pl. VI). — Toute la voie étant libre, par hypothèse, tous les grands bras sont verticaux, ce qui veut dire « voie libre »; tous les petits bras sont aussi verticaux, ce qui veut dire « aucun train annoncé »; le train Z n'est pas annoncé au poste A puisque celui-ci est supposé le poste initial ou poste de départ de la ligne.

II. *Le train passe au droit du poste A', poste initial* (*fig. 2*, Pl. VI). Le poste A' étant poste initial, ne contient qu'un seul appareil de manœuvre, l'appareil n° 1.

Au passage du train Z' en A', l'agent du poste A' donne un tour (210°) de manivelle à l'appareil n° 1. Les effets produits sont les suivants :

1° Au poste A', le grand bras du sémaphore est enclenché *mécaniquement* dans la position horizontale, ce qui couvre le train.

2° Au poste d'aval B', le petit bras ou voyant est déclenché *électriquement* par le courant émis de A' et devient horizontal, ce qui annonce le train au poste B'; ce mouvement du bras produit mécaniquement au même poste un tintement de carillon.

3° Au poste A', *électriquement*, l'accusé de réception du signal d'annonce produit en B' est donné lorsque le mouvement du petit bras s'est accompli en B'; cet accusé de réception se manifeste au poste A' par l'apparition du mot *annoncé* et un coup de timbre, conséquence mécanique de cette apparition.

III. *Le train passe au droit du poste B'', poste courant* (*fig. 3*, Pl. VI). Le poste B'' étant poste courant est dans le cas général et contient les deux appareils de manœuvre

n° 1 et n° 2. Lorsque le train arrive au poste B'', les sémaphores sont encore dans la position représentée à la fig. 2, Pl. VI. Au passage du train Z'' au droit du poste B'', l'agent du poste B'' donne successivement : 1° un tour (210°) de manivelle à l'appareil n° 1 ; 2° un tour (210°) de manivelle à l'appareil n° 2.

La manœuvre de l'appareil n° 1 produit (comme au cas précédent) les effets suivants :

1° Au poste B'', le grand bras du sémaphore est enclanché mécaniquement dans la position horizontale, ce qui couvre le train.

2° Au poste d'aval C'', le petit bras ou voyant est déclanché électriquement par courant émis de B'' et devient horizontal, ce qui annonce le train au poste C'' ; ce mouvement du bras produit mécaniquement au même poste un tintement de carillon.

3° Au poste B'', *électriquement*, l'accusé de réception du signal d'annonce produit en C'' est donné lorsque la chute du petit bras s'est accomplie en C'' ; cet accusé de réception se manifeste au poste B'' par l'apparition du mot *annoncé* et un coup de timbre, conséquence mécanique de cette apparition.

La manœuvre de l'appareil n° 2 produit les effets suivants :

4° Au poste B'', le petit bras (qui était horizontal et déclanché puisque le train était annoncé (voir fig. 2, Pl. VI) est *mécaniquement* redressé à la verticale et réenclanché (fig. 3, Pl. VI).

5° Au poste d'amont A'', le grand bras (qui était horizontal puisque le train avait été couvert (voir fig. 2, Pl. VI) est déclanché électriquement et reprend sa position verticale, ce qui rouvre la voie en A''. (Voir fig. 3, Pl. VI.) Ce mouvement de bras produit mécaniquement au même poste un mouvement de carillon.

6° Au poste B'', *électriquement*, l'accusé de réception du

signal d'ouverture de voie produit en A'' est donné lorsque la chute du grand bras s'est accomplie en A'' ; cet accusé de réception se manifeste au poste B'' par l'apparition du mot voie *libre* et un coup de timbre, conséquence mécanique de cette apparition.

Il est facile de comprendre que, lors de l'arrivée du train au poste extrême de la ligne, ce poste n'aurait à manœuvrer que l'appareil n° 2, le seul d'ailleurs dont il soit muni.

Manœuvre des électro-sémaphores pour double voie dans les divers cas. — Dans le cas élémentaire qui précède, nous avons supposé une voie libre et un train la parcourant sans obstacle, sans garage, etc. ; nous allons maintenant prendre les divers cas qui peuvent se présenter, mais nous nous contenterons, dans ce qui va suivre, d'indiquer la manœuvre à faire, les effets en étant bien connus par ce qui précède. Il faut distinguer tout d'abord :

- I. Les sémaphores de pleine voie.
- II. Les sémaphores de gare.

I. — SÉMAPHORES DE PLEINE VOIE.

Lorsqu'un électro-sémaphore E est en pleine voie et qu'un train passe devant lui, ce sémaphore E a toujours son petit bras *horizontal* déclanché puisque le train a été annoncé par le sémaphore d'amont D, mais ce même sémaphore E peut être ou à voie libre ou à voie fermée, et, par suite, avoir son grand bras *vertical déclanché* ou *horizontal enclanché*.

- 1^{er} cas. Sémaphore E à

{	grand bras vertical déclanché,
	voie libre
	petit bras horizontal déclanché.

Le garde manœuvre son appareil n° 1 et son appareil n° 2 (cas élémentaire décrit ci-dessus).

- 2^e cas. Sémaphore E à

{	grand bras horizontal enclanché,
	voie fermée
	petit bras horizontal déclanché.

Si un train se présente dans ces conditions, il s'arrête, et comme il ne peut repartir que lorsque le sémaphore E sera mis à voie libre par un courant émis du poste d'aval F, à ce moment, c'est-à-dire lorsque le train continuera sa route, le sémaphore E sera rentré dans le cas précédent de voie libre.

Ce qui précède est rigoureusement vrai pour le Block-system; pour le Block permissive system il n'en est plus tout à fait de même, car dans ce cas le train trouvant le sémaphore à l'arrêt, ralentit et continue avec précaution; le garde alors manœuvre seulement son appareil n° 2 pour ouvrir la voie en amont et effacer l'annonce du train, puis il observe son sémaphore jusqu'à la chute de son grand bras; à ce moment seulement il manœuvre son appareil n° 1, et il est rentré dans le cas élémentaire.

Si, par suite d'une circulation momentanément très-serrée, le garde avait ainsi, avec la tolérance du Block permissive system, engagé n trains ralentis dans la section fermée par son sémaphore E, il n'effectuerait les n manœuvres de son appareil n° 1 qu'au fur et à mesure des n fois que le poste d'aval F lui déclancherait son grand bras.

II. — SÉMAPHORES DE GARE.

Les deux cas examinés ci-dessus aux sémaphores en pleine voie se présentent pour les sémaphores de gare, et il est inutile d'y revenir, les manœuvres étant les mêmes; mais il est pour chacun de ces deux cas trois éventualités spéciales aux sémaphores de gare et qu'il faut examiner :

- 1° Train traversant une gare sans s'y arrêter.
- 2° Train s'arrêtant à une gare sans s'y garer.
- 3° Train se garant.

1° Train traversant une gare sans s'y arrêter.
La manœuvre de l'électro-sémaphore est la même qu'en

pleine voie, avec cette seule différence que, s'il y a utilité à réduire au minimum l'intervalle des trains, l'agent peut manœuvrer son appareil n° 2 le premier et dès que le disque à distance de la gare couvre le train (pour les compagnies du moins qui couvrent les trains de passage par le disque à distance).

2° Train s'arrêtant à une gare sans s'y garer.

La couverture par le disque à distance permet encore dans ce cas, si l'on veut réduire au minimum l'intervalle des trains, de manœuvrer l'appareil n° 2 le premier; l'appareil n° 1 ne doit l'être, au contraire, qu'au départ du train (cette attente n'a d'ailleurs aucun inconvénient, eu égard à la présence du disque à distance). — Dans l'hypothèse du Block permissive system, le départ peut avoir lieu même lorsque le sémaphore (mis à l'arrêt pour un train précédent) n'a pas encore été effacé par le poste en aval; mais alors le chef de gare, qui ne doit donner son signal que lorsque tout est prêt pour le départ, prévient le mécanicien de cette circonstance, et ce dernier agit comme au passage devant un sémaphore de pleine voie à l'arrêt.

3° Train se garant à une station pour laisser passer un autre train.

Au moment de l'arrivée du premier train, l'agent du poste sémaphorique n'a à manœuvrer que son appareil n° 2, puisque le train est couvert par le disque à distance tant qu'il n'est pas garé et puisque d'ailleurs le train ne s'engage pas dans la section d'aval.

Quand le deuxième train passe et quand le premier repart, on rentre dans les hypothèses faites ci-dessus.

La fig. 7, Pl. VI, résume les divers cas qui peuvent se présenter sur une ligne à double voie.

Serrage exceptionnel des trains. Intercalation de postes intermédiaires. — Il est quelquefois utile de pouvoir, à certain jours de fêtes, courses, etc., serrer exceptionnellement les trains tout en conservant les garanties nécessaires à la

sécurité. Cette condition est facile à réaliser avec les électro-sémaphores. A ces jours exceptionnels, on introduit dans le circuit des électro-sémaphores et, à intervalles aussi restreints que l'on veut, par exemple de 2.000 mètres en 2.000 mètres, des *postes accessoires*.

Les postes accessoires, employés jusqu'à présent par la compagnie du chemin de fer du Nord, se composent d'une double sonnerie, l'une claire, l'autre sourde, de 2 boutons de manipulation et des piles nécessaires. — La sonnerie sourde joue le rôle de la petite aile du sémaphore. — La sonnerie claire joue le rôle de la grande aile du sémaphore.

Au passage de chaque train l'agent du poste appuie sur les 2 boutons, ce qui produit les effets suivants :

1° Arrêt de la sonnerie sourde qui annonçait le train et ouverture de la voie au poste d'amont, soit par déclanchement du grand bras (s'il s'agit d'un sémaphore), soit par arrêt de sonnerie claire (s'il s'agit d'un autre poste intermédiaire);

2° Mise en marche de la sonnerie claire et annonce du train au poste d'aval, soit par déclanchement du petit bras (s'il s'agit d'un sémaphore), soit par mise en action de la sonnerie sourde (s'il s'agit d'un poste intermédiaire).

Les mêmes effets sont produits automatiquement par la manœuvre normale des appareils électro-sémaphoriques contigus aux postes intermédiaires, l'enclenchement du grand bras mettant en action la sonnerie sourde au poste intermédiaire d'aval et l'enclenchement du petit bras mettant à l'arrêt la sonnerie claire au poste intermédiaire d'amont.

Si un train se présente devant le poste accessoire pendant que la sonnerie claire fonctionne, l'agent fait au train le signal d'arrêt (Block-system) ou le signal de ralentissement (Block permissive system).

Le service exceptionnel n'ayant lieu en général, à un moment de la journée, que dans un seul sens, un simple chan-

gement dans les communications permet d'utiliser les mêmes appareils pour les trains de retour.

On voit que ces postes accessoires, tout temporaires d'ailleurs, ne réalisent plus le programme complet posé seulement pour les postes fixes; mais cela n'a pas un grand inconvénient, eu égard aux cas spéciaux pour lesquels ils sont utilisés.

Récemment enfin, pour rentrer, autant que possible, dans le programme des électro-sémaphores fixes, les inventeurs ont fait construire des appareils volants qui donnent aux trains intermédiaires les mêmes signaux que les électro-sémaphores fixes; ces appareils sont de proportions réduites, à disposition simplifiée, mais les effets produits sont les mêmes, sauf les accusés de réception. Les 2 grands bras et les 2 petits bras sont enclanchés directement à la main sans appareil de manœuvre, et l'envoi des courants est fait en temps voulu au moyen d'un basculeur à mercure actionné par les mouvements des bras. La *fig. 11*, Pl. VI, indique cette disposition dont la légende ci-dessous donne le détail :

- AA' Grand bras pour l'une des deux voies (peinture en rouge vers les trains venant par cette voie).
- BB' Grand bras pour l'autre des deux voies (peinture en rouge en sens opposé au précédent).
- L et M Leviers liés invariablement aux ailes A et B, à angle droit à peu près sur elles, et portant la palette d'armature des aimants Hughes H et H'.
- G et C Basculeurs à mercure (*), actionnés par les doigts Q et R des leviers L et M.
- a et b Petits bras pour l'une et l'autre voie portant eux-mêmes les palettes d'armature des aimants Hughes h et h'.

(*) Le basculeur à mercure de M. Lartigue est une boîte en caoutchouc durci, divisée pour le cas en deux loges séparées, en partie remplies de mercure; les cloisons de la boîte sont traversées par des fils conducteurs pénétrant de quelques millimètres à l'intérieur; suivant les positions de la boîte, le mercure établit ou non les communications électriques entre ces conducteurs.

c et *c* Basculeurs à mercure, actionnés par les doigts *q* et *r* des petits bras *a* et *b*.

P Pile.

T Poteau télégraphique utilisé comme support.

Tout l'appareil est fixé par 2 tire-fonds contre le poteau télégraphique qui porte les fils des sémaphores : ces derniers sont momentanément coupés pour l'intercalation du poste volant.

Variantes et détails divers pour les électro-sémaphores.

I. *Double voie fermée.* — Sur certaines lignes on veut que la voie soit habituellement fermée ; l'agent du poste doit l'ouvrir, s'il y a lieu, au moment où le train se présente devant la section ; dans ce cas on équilibre les grands bras par des contre-poids et le courant venant du poste d'aval déclanche, non pas les bras eux-mêmes, mais un levier qui les calait lorsqu'ils étaient dans la position enclanchée ; à partir du moment où le levier est déclanché, le grand bras continue à rester horizontal et à tenir la voie fermée, mais il peut être effacé par l'agent du poste si un train se présente ; si le train se présente avant que le poste d'aval ait produit le déclanchement, l'agent du poste est impuissant à ouvrir la voie (*fig. 9, Pl. VI*).

II. *Postes intermédiaires.* — Il arrive souvent que sur une ligne il existe, en dehors des postes principaux, des points auxquels on doit annoncer l'approche d'un train, par exemple certains passages à niveau ; il est facile d'interposer dans le circuit des sémaphores un appareil donnant un signal à vue permanent (aile déclanchée) et un signal acoustique correspondant à l'annonce du train ; une fois le train passé, le garde réenclanche le signal à vue qui disparaît ainsi (*fig. 10, Pl. VI*).

III. *Double couverture.* — Nous signalerons enfin la possibilité d'opérer, au moyen des électro-sémaphores,

comme on opère sur le chemin de fer de Ceinture eu égard au peu de longueur des sections. Soient 3 postes ABC ; lorsque le train passe en B, le poste B déclanche toujours électriquement le grand bras du poste A, mais on a disposé les choses pour que le grand bras, lors de son déclanchement, ne se rabatte que de 45° et soit arrêté dans sa chute par un verrou qui est retiré un certain temps après ou par l'agent du poste ou automatiquement, lorsque le train a parcouru une partie de l'espace BC. Pendant un certain temps après que le premier train s'est engagé dans la section BC, le second train est couvert, non-seulement par le signal d'arrêt B, mais aussi par le signal de ralentissement A.

La *fig. 13, Pl. V*, indique la disposition à adopter pour ce cas ; on y a supposé l'aile déclanchée à 45° ; le doigt D vient dans cette position buter contre le verrou V que l'agent retirera à la main en temps voulu pour permettre à la rotation de s'achever sous la seule action de la pesanteur.

IV. *Correspondances accessoires.* — Les fils des sémaphores peuvent être utilisés et le sont, en effet, pour l'échange de correspondance entre les postes. Ces correspondances accessoires étant obtenues par des courants de sens contraire à ceux qui déclanchent les appareils, ils n'agissent en rien sur les signaux sémaphoriques. On a souvent usé de cette facilité pendant les expériences faites sur les appareils de la ligne de Chantilly ; et l'on pouvait ainsi, au moyen de signaux convenus avec les postes voisins, simuler des trains fictifs et faire répéter, pour l'instruction même des agents, les manœuvres correspondant au passage réel des trains. Enfin on se sert de la communication accessoire à la compagnie du Nord pour donner aux gares certains avis, notamment pour faire rentrer dans le circuit, à un moment donné, les stations qui n'ont pas un service télégraphique permanent.

V. *Contrôle des agents.* — Nous avons indiqué ci-dessus comment tous les mouvements exécutés par un poste sont reproduits par les postes voisins d'une manière permanente; il en résulte une communauté de responsabilité et toute erreur est immédiatement contrôlée par des témoignages dont la concordance ne peut laisser aucun doute sur l'irrégularité commise.

VI. *Manœuvres automatiques.* — Les inventeurs ont aussi imaginé des dispositions permettant de faire manœuvrer automatiquement les appareils par le passage même des trains, mais eu égard aux chocs que produisent les trains de grande vitesse, ils ne recommandent pas, quant à présent, ce mode d'emploi.

VII. *Signaux à distance. Verrous et pétards.* — L'énergie des efforts que l'on peut produire permet de relier la manivelle B des appareils à des tringles de transmission pour des signaux à faire à distance (voir *fig. 13*, Pl. VI); de même aussi la manœuvre peut, par solidarité mécanique, être subordonnée à la position de verrous, d'aiguilles, etc., ou amener sur la voie un porte-pétard pour confirmer le signal à vue. Ce signal à vue peut d'ailleurs être aussi confirmé au mécanicien par le sifflet électromoteur.

Signaux de nuit. Éclairage des électro-sémaphores pour double voie. — Les électro-sémaphores, manœuvrés la nuit exactement comme le jour, donnent, dans la position horizontale des grands bras, un feu rouge, et, dans la position verticale des grands bras, un feu blanc (pour le cas de la double couverture visé ci-dessus, le ralentissement est indiqué par un feu vert); ces feux sont donnés dans l'une et l'autre direction pour les trains montants et les trains descendants.

Une lanterne unique à quatre feux, à verres blancs et à réflecteurs paraboliques L (*fig. 1*, Pl. V) suffit pour l'éclairage complet de l'électro-sémaphore.

Le feu avant et le feu arrière de la lanterne donnent le signal rouge dans la direction voulue, lorsque l'un ou l'autre des grands bras est enclanché ou lorsqu'ils sont enclanchés tous les deux à la fois; à cet effet une ouverture, munie d'un verre rouge, est pratiquée dans le corps du bras A (U) et dans le talon du bras B (U'). De cette manière les centres des 2 verres rouges viennent, dans la position d'enclanchement des 2 bras, se placer sur l'axe des réflecteurs paraboliques de la lanterne *unique*. Quant aux rayons donnés par les deux feux latéraux de la lanterne, ils sont rendus verticaux par des réflecteurs à 45° *m* et *m'* et éclairent les appareils de manœuvre et les petits bras; ces derniers sont à section verticale triangulaire, en sorte que leurs deux faces inclinées sont éclairées par les rayons verticaux.

Le feu vert nécessité par le système de la double couverture est produit par un écran de cette couleur placé sur le bras et amené devant la lanterne, dans la position à 45° .

DEUXIÈME PARTIE.

Lignes à voie unique.

Protection des trains de même sens et de sens contraire. — Tout ce qui a été rappelé ci-dessus pour la protection des trains circulant sur la double voie est applicable à la voie unique, puisqu'il y circule des trains de même sens qui doivent être protégés les uns contre les autres; mais, en outre, il y a, sur la voie unique, à protéger les trains contre les trains de sens contraire.

L'échange des dépêches réglementaires, lorsqu'il est bien fait, évite l'introduction de 2 trains de sens contraires

dans une même section; sur certaines lignes les sonneries allemandes informent non-seulement les gares, mais certains points intermédiaires, du départ d'un train dans un sens déterminé; leur emploi permet donc, en cas d'erreur des stations, aux agents des postes intermédiaires de prévenir une collision.

Mais les correspondances télégraphiques et celles des sonneries ne produisent aucun signal permanent sur la voie, et il faut toujours que le signal donné soit reçu et transmis par un agent.

Solution du problème par les électro-sémaphores. — Moyennant quelques modifications de détail, que nous indiquerons plus loin, les inventeurs des électro-sémaphores ont adapté leurs appareils à la voie unique, de manière à réaliser la double condition de sécurité.

Programme de MM. Lartigue et Tesse. — MM. Lartigue et Tesse appliquent ici le même programme que pour la double voie (voir page 171), mais ils ajoutent pour la voie unique une sixième condition ainsi libellée :

6° *Sur la ligne à simple voie, impossibilité d'effacer le signal à vue fermant l'extrémité d'une section sans que la voie ait été préalablement fermée absolument à l'autre extrémité, résultat obtenu par une seule manœuvre, sans exiger la présence d'un agent au poste correspondant.*

Quand la voie est fermée-aux deux extrémités, c'est-à-dire pendant qu'un train circule sur la section à voie unique, impossibilité d'envoyer de nouveaux signaux qui pourraient faire confusion dans l'esprit des agents.

Électro-sémaphores pour voie unique. — Les postes qui séparent les sections sont munis d'électro-sémaphores qui ne diffèrent de ceux de la double voie que par quelques points :

1° Les 2 bras inférieurs sont, non plus des signaux adressés aux agents des postes, mais des signaux adressés aux mécaniciens, et, par suite, ils ont même forme et

mêmes dimensions que les bras supérieurs et apparaissent du même côté du mât. Au lieu d'être enclanchés dans la position verticale redressée, ils sont enclanchés dans la position verticale pendante, mais un contre-poids placé en queue les fait exactement rentrer, au point de vue des actions mécaniques, dans les conditions des petits bras des sémaphores de double voie.

2° Dans la position déclanchée (horizontalité-arrêt), le bras inférieur produit le clavetage du bras supérieur dont le déclanchement est paralysé pendant tout le temps du déclanchement du bras inférieur.

La fig. 2, Pl. V, montre l'électro-sémaphore pour voie unique. — La fig. 15, Pl. V, indique la disposition qui réalise la deuxième des conditions précédentes.

La pièce de carillon est pourvue d'un loquet W. Une came fixée sur l'axe du levier q, où s'articulent les tringles de tirage du bras inférieur, soulève la queue de ce loquet lorsque le bras est horizontal et l'applique contre une dent de rochet que porte l'axe du levier Q correspondant au grand bras, qui est habituellement horizontal dans le service de la voie unique. Le grand bras se trouve donc claveté dans sa position horizontale (voie fermée) aussi longtemps que le bras inférieur est lui-même horizontal ou déclanché. Par le relèvement du bras inférieur, le loquet est lui-même relevé par le poids de sa queue et le jeu du bras supérieur rendu libre.

Sauf les deux différences mentionnées ci-dessus, tout le mécanisme des appareils est le même que dans l'électro-sémaphore pour double voie. Les communications électriques sont différentes, et le commutateur K (fig. 3, Pl. V) de l'appareil n° 1 ne sert plus ici pour les communications accessoires, mais est utilisé pour l'envoi obligatoire du courant négatif de l'appareil n° 1 d'un poste à l'appareil n° 2 du poste suivant (comme il sera dit plus loin). Le commutateur homologue de l'appareil n° 2 continue à

servir pour les communications accessoires et est dans les conditions convenables pour que le courant ne produise aucun effet sur les signaux à vue.

L'apparition des voyants intérieurs, accompagnée d'un coup de timbre, n'a plus la signification d'accusé de réception qu'elle a sur la double voie; dans l'appareil n° 1, elle indique l'arrivée du train à l'extrémité de la section par les mots *arrivé*, et dans l'appareil n° 2 elle indique l'expédition du train dans la section par les mots *train expédié*.

Application des électro-sémaphores pour voie unique. — Soient deux postes A et B consécutifs sur une voie unique. Ces deux postes sont munis d'électro-sémaphores. Dans la position initiale ou de repos, les deux bras supérieurs des deux sémaphores sont à l'*arrêt permanent*, sans que l'agent du poste puisse les effacer lui-même mécaniquement; les deux bras inférieurs sont verticaux aux deux sémaphores, et par suite à *voie libre*. Tout est donc *enclanché*, et la voie unique est régulièrement *bloquée* aux deux bouts (*fig. 4, Pl. VI*).

Un train se présente en A pour marcher de A vers B: l'agent du poste A ne peut effacer lui-même le grand bras du sémaphore A sur lequel il est sans action; mais, au moyen du commutateur de l'appareil n° 1, il envoie un courant vers B pour déclencher le bras inférieur du sémaphore B, qui, en vertu de son contre-poids, se relève à la position horizontale; ce mouvement produit trois effets distincts :

- 1° Confirmation en B aux trains venant dans le sens YX du signal d'arrêt donné par le bras supérieur S au moyen du signal d'arrêt donné par le bras inférieur *t* qui prend la même position que le premier du même côté du mât;
- 2° Clavetage du bras supérieur S dans sa position horizontale (arrêt pour les trains de sens YX);
- 3° Envoi automatique vers A d'un courant qui déclenche

le bras supérieur V de ce poste et permet l'expédition du train de sens XY.

Cette position des signaux est représentée *fig. 5, Pl. VI*.

Le train Z expédié, l'agent du poste A remet à l'arrêt le bras supérieur V (enclanchement), et par le même mouvement, envoie à B l'annonce du départ du train de A vers B; cette annonce est faite par l'apparition, dans l'appareil n° 2 du poste B, du voyant *train expédié*, apparition accompagnée d'un coup de timbre. Le train parcourt alors la section AB en toute sécurité puisque l'autorisation de passer en A dans le sens AB n'a été qu'une conséquence du doublement du signal d'arrêt en B pour les trains de sens YX (*fig. 6, Pl. VI*). Pendant ce parcours, d'ailleurs, aucune modification ne peut être faite dans les signaux; c'est seulement lorsque le train en question passe en B que l'agent de ce poste *réenclanche* le bras inférieur *t* de son poste, ce qui produit le *déclavetage* du grand bras S au même poste et envoie au poste A l'annonce de l'arrivée du train Z à l'extrémité de la section. Cette annonce est faite par l'apparition, dans l'appareil n° 1 du poste A, du voyant *train arrivé*, apparition accompagnée d'un coup de timbre.

Pour la continuation de la marche du train, ce poste B agit alors vers C comme A a agi vers B, puis C agit vers B comme B a agi vers A.

En définitive, on voit :

- 1° Que la voie ne peut être débloquée à l'extrémité d'une section sans qu'elle soit préalablement bloquée *doublement* à l'autre extrémité;
- 2° Que, pendant tout le temps qu'un train circule sur une section, il ne peut être envoyé, ni dans un sens ni dans l'autre, de nouveaux signaux pouvant faire confusion dans l'esprit des agents;
- 3° Que le rôle des agents des sémaphores consiste uniquement : 1° à appuyer sur un commutateur pour faire, par l'intermédiaire du poste suivant, ouvrir la voie avant

le départ du train; 2° à couvrir le train après son départ en réenclanchant par un demi-tour de manivelle l'appareil qui venait d'être déclanché; 3° à annoncer que le train est arrivé en effaçant le bras inférieur par un demi-tour de manivelle de l'appareil qui le manœuvre.

Il paraît inutile d'examiner ici les cas de garage pour la simple voie; tous ces cas se déduisent très-facilement des cas homologues étudiés pour la double voie, au moyen des explications qui précèdent.

La fig. 8, Pl. VI, résume les divers cas qui peuvent se présenter sur une ligne à simple voie.

Relèvement prématuré du petit bras. — Il est un cas qui pourrait se produire; supposons que, pendant que le train circule de A en B, l'agent du poste B, contrairement aux prescriptions, efface le bras inférieur de son sémaphore; il annoncera ainsi indûment à A l'arrivée du premier train en B et par suite A pourra expédier prématurément un second train de A vers B ou le même B expédier un autre train à la rencontre du premier dans le sens BA. Il faut tout d'abord remarquer combien il est peu probable que cette erreur se produise, puisque l'agent du poste B ne doit effacer le *bras inférieur* qu'au passage, devant son poste, du train annoncé. A cette éventualité, d'ailleurs, il est remédié d'une façon radicale par l'emploi de postes accessoires intermédiaires installés comme suit.

Postes intermédiaires. — Dans le circuit des électro-sémaphores sont intercalés des mâts à deux bras; ces deux bras sont enclanchés par un aimant Hughes dans la position horizontale.

Lorsque le poste A envoie le premier courant en B pour déclancher le bras inférieur de ce poste, il ne produit aucun effet sur les mâts intermédiaires dont il ne fait que renforcer les aimants, mais le courant de retour vers A (conséquence du rabattement du bras inférieur du poste B) déclanche tous les bras des mâts intermédiaires (mou-

vement accompagné du jeu d'un carillon), comme le bras supérieur du sémaphore A. Le train parcourant régulièrement AB, trouve donc tous les mâts intermédiaires à voie libre, et chaque garde est averti par la mise à voie libre de l'un ou de l'autre bras de son mât, de l'approche d'un train dans tel ou tel sens; la mise à voie libre de son mât pour les deux sens (double signal à vue doublé de deux signaux acoustiques) signalerait le danger de collision à tous les gardes placés entre les deux postes A et B; mais comme il paraîtrait peu logique de faire interpréter le signal de voie libre dans les deux sens, comme indiquant la nécessité de faire le signal d'arrêt, on a solidarisé le jeu des deux bras des postes intermédiaires de sorte que dès que l'un est mis à *voie libre*, l'autre reste forcément à *voie fermée* (ce qui n'empêche pas le double jeu de carillon de se produire pour prévenir le garde d'une anomalie dans le service). L'un des deux trains est donc forcément arrêté.

Pour doubler la couverture du train, contre les trains de même sens, les gardes relèvent d'ailleurs le bras de leur mât après le passage de chaque train. Les positions de ces postes intermédiaires sont indiquées aux grands passages à niveau et spécialement aux dédoublements de la voie aux abords des stations; en ces derniers points, en effet, le poste intermédiaire remédierait toujours à la seule hypothèse de collision qui soit admissible, en arrêtant avant la voie unique tout train dont on aurait indûment autorisé et signalé le départ.

On peut se demander encore ce qui arriverait si au même instant électrique les agents de deux postes A et B demandaient le passage de deux trains de sens contraire; l'indépendance des communications qui transmettent ces signaux fait que les deux demandes seraient transmises en même temps; or celle qui vient du poste A produit double fermeture en B et celle qui vient du poste B produit double fermeture en A. La voie sera donc doublement bloquée aux

deux bouts, chacun des bras inférieurs clavétant à l'arrêt le bras supérieur. On aurait recours alors à l'échange des dépêches réglementaires. Ce cas est d'ailleurs presque chimérique.

Signaux de nuit, éclairage. — Les choses sont disposées dans l'électro-sémaphore pour voie unique de telle sorte qu'une seule lanterne suffise pour l'éclairage de tout le mât. La lanterne unique L (fig. 2, Pl. V) est hissée soit à la hauteur des bras inférieurs, soit à la hauteur des bras supérieurs; les feux correspondant aux bras seraient donnés par des verres rouges liés aux tringles de tirage de ces bras. Des réflecteurs éclaireraient les appareils de manœuvre.

TROISIÈME PARTIE.

Application des électro-sémaphores pour double voie sur le réseau du Nord.

Historique de l'installation des premiers électro-sémaphores pour ligne à double voie sur la section de Saint-Denis à Creil par Chantilly. — Les premiers électro-sémaphores pour double voie ont été installés sur la ligne de Saint-Denis à Creil par Chantilly, en octobre 1873, et la pose a été terminée avant le 1^{er} novembre; ils ont passé tout l'hiver sans entretien et ont été mis en service à blanc, le 25 avril 1874, en vertu d'une note signée par l'inspecteur principal de l'exploitation et l'ingénieur de la voie de la section.

La mise en service régulier a eu lieu le 1^{er} juillet 1874 en vertu d'un ordre de service n° 2095 (Exploitation), n° 243 (Matériel), n° 442 (Travaux) et conformément à une instruction spéciale du 1^{er} juin 1874.

Division de la ligne en sections avec postes fixes. — La ligne en question a été divisée en onze sections, comme l'indique le tableau ci-dessous.

NUMÉROS des postes.	EMPLACEMENT.	KILOMÈTRES.	DISTANCE entre deux postes consécutifs.	OBSERVATIONS.
1	Station de Saint-Denis. . .	6 100		
2	— de Pierrefite.	10 175	4 075	
3	— de Gonesse.	14 800	4 625	
4	— de Goussainville. . . .	19 350	4 750	
5	— de Louvres.	23 500	3 950	
6	— de Surville.	29 600	6 100	Intervalle maximum.
7	— d'Orry.	35 000	5 400	
8	— de Chantilly.	41 000	6 000	
9	Bifurcation de Senlis. . . .	42 360	1 360	
10	Garage de Saint-Maximin. . .	43 650	1 290	
11	— de Montataire.	48 400	4 750	
12	Aiguille sud de Creil.	49 460	1 060	Intervalle minimum.

Ces sections sont de longueur inégale, parce que la manœuvre de l'électro-sémaphore exigeant un garde, on a profité des points où il existait déjà des agents à poste fixe.

Manière dont les mécaniciens observent les indications des électro-sémaphores à la compagnie du Nord. — La compagnie du Nord, dans l'application qu'elle a faite de ces signaux sur la ligne de Chantilly, a préféré appliquer le Block permissive system. Le grand bras déployé du sémaphore n'est considéré sur cette ligne que comme un avertissement, et l'article 3 de l'instruction publiée par la compagnie assimile les sémaphores aux disques à distance ordinaire: à la vue d'un sémaphore à l'arrêt, le mécanicien se rend complètement maître de sa vitesse, puis continue à marcher avec prudence de façon à pouvoir s'arrêter dans la limite de l'espace qu'il voit libre devant lui; s'il n'aperçoit aucun signal d'arrêt, il continue ainsi jusqu'au poste sémaphorique suivant; si celui-ci est à voie libre, le mécanicien reprend sa marche normale; s'il trouvait le second sémaphore à l'arrêt, il agirait comme au passage devant le premier sémaphore.

Remarquons enfin que les mécaniciens n'ont jamais à se préoccuper que des indications données par celui des deux grands bras qui se présente à leur gauche lorsqu'ils regardent le sémaphore.

Observations faites sur la manœuvre des électro-sémaphores en service. — Nous avons fait relever à diverses dates les mouvements des appareils électro-sémaphoriques par des agents du service du contrôle, et nous avons réuni les résultats des observations sur les 10 tableaux suivants, qu'il nous paraît utile de reproduire ici à titre d'exemples.

(Les observations contenues aux tableaux 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ont été toutes faites en juillet 1874, alors que les appareils ne fonctionnaient que depuis peu; ils étaient par conséquent manœuvrés par des agents forcément inexpérimentés et présentaient quelques dispositions de détail que l'on a été conduit à retoucher.)

Observations faites sur les trains impairs (voie de gauche), à l'électro-sémaphore de Saint-Maximin, le 23 juillet 1874.

Noméros des trains observés.	21	25	407	Machine isolée.	23
Nature des trains observés.	Semi-direct.	Express.	Marchandises.		Semi-direct.
	heures.	heures.	heures.	heures.	heures.
Heure à laquelle Saint-Maximin reçoit électriquement le signal d'annonce envoyé par la bifurcation de Senlis.	2,34	4,20 A	4,35	4,39	5,02
Heure à laquelle Saint-Maximin ouvre électriquement la voie à la bifurcation de Senlis.	2,36	4,30	4,39	4,43	5,04
Heure à laquelle Saint-Maximin couvre le train mécaniquement et l'annonce électriquement à Montataire.	2,36	4,30	4,39	4,43	5,04
Heure à laquelle Saint-Maximin voit tomber l'aile de son sémaphore (voie ouverte) manœuvrée électriquement par Montataire.	2,39	4,32	4,44	4,50	5,07

REMARQUE. — A. La petite aile est tombée difficilement.

Observations faites sur les trains pairs (voie de droite), à l'électro-sémaphore de Saint-Maximin, le 23 juillet 1874.

Noméros des trains observés.	22	122	24	28	30	32
Nature des trains observés.	Semi-direct.	Omnibus.	Semi-direct.	Semi-direct.	Express.	Express.
	heures.	heures.	heures.	heures.	heures.	heures.
Heure à laquelle Saint-Maximin reçoit électriquement le signal d'annonce envoyé par Montataire.	2,12	2,46	3,22	4,02	4,58	5,18
Heure à laquelle Saint-Maximin ouvre électriquement la voie à Montataire.	2,17	2,50	3,26	4,06	5,02	"
Heure à laquelle Saint-Maximin couvre le train mécaniquement et l'annonce électriquement à la bifurcation de Senlis.	2,17	2,50	3,26	4,09	5,02	"
Heure à laquelle Saint-Maximin voit tomber l'aile de son sémaphore (voie ouverte) manœuvrée électriquement par la bifurcation de Senlis.	2,20	2,54	3,29	4,09	5,05	"

Observations faites sur les trains impairs
de Gonesse, le

Numéros des trains observés.	407	25
Nature des trains observés.	Marchan- dises	Express.
	heures.	heures.
Heure à laquelle Gonesse reçoit électriquement le signal d'annonce envoyé par Pierrefitte.	2,21	2,57
Heure à laquelle Gonesse ouvre électriquement la voie à Pierrefitte.	2,37	4,01
Heure à laquelle Gonesse couvre le train mécaniquement et l'annonce électriquement à Goussainville.	2,37	4,01
Heure à laquelle Gonesse voit tomber l'aile de son sémaphore (voie ouverte manœuvrée électriquement par Goussainville).	2,54	4,06

- REMARQUES.
- A Le train 23 est passé à Goussainville vers 4 heures 26; malgré demandé à Goussainville.
 - B Le train 125 s'arrête à Gonesse.
 - C Le train 927 s'est garé à Gonesse pour le passage des trains
 - D Le train 127 s'arrête à Gonesse.
 - E Le train 127 bis meurt à Gonesse.

Observations faites sur les trains pairs
de Gonesse, le

Numéros des trains observés.	1010	22	340
Nature des trains observés.	Marchan- dises.	Semi- direct.	Marchan- dises.
	heures.	heures.	heures.
Heure à laquelle Gonesse reçoit électriquement le signal d'annonce envoyé par Goussainville.		2,50	2,54
Heure à laquelle Gonesse ouvre électriquement la voie à Goussainville.		2,54	3,05
Heure à laquelle Gonesse couvre le train mécaniquement et l'annonce électriquement à Pierrefitte.		2,54	3,05
Heure à laquelle Gonesse voit tomber l'aile de son sémaphore (voie ouverte) manœuvrée électriquement par Pierrefitte.		2,57 1/2	3,16

- REMARQUES.
- A Le train 122 s'arrête à Gonesse.
 - B Goussainville, après avoir électriquement fait tomber la petite
 - C Après l'abaissement de la petite aile, la sonnerie d'appel (Gons
gare l'arrête (affaire de commutateurs en dehors des électro-
 - D Le train 960 se gare à Gonesse pour le train n° 28.
 - E A 4 heures 34 Goussainville demande à Gonesse de faire tomber
 - F Le train 28 s'arrête à Gonesse.

(voie de gauche) à l'électro-sémaphore.
14 juillet 1874.

23	125	927	27	127	29	127 bis.
Semi- direct.	Omnibus.	Marchan- dises.	Omnibus.	Omnibus.	Express.	Omnibus.
heures.	heures.	heures.	heures.	heures.	heures.	heures.
4,15	4,33	5,00	5,15	5,32	6,19 1/2	6,36
4,21	4,41 B	5,12 C	5,21 D	5,40	6,24 1/2	6,45
4,21	4,42	5,40	5,21	5,42	6,24 1/2	E
4,35 A	4,49	5,59	5,27	5,49	6,20 1/2	

cela Gonesse n'a vu tomber sa grande aile que vers 4 heures 33, après l'avoir

n° 27 et 127; il est parti de Gonesse vers 5 heures 45.

(voie de droite) à l'électro-sémaphore
14 juillet 1874.

122	24	960	28	30	32	Marée.
Postal.	Postal.	Marchan- dises.	Semi- direct.	Express- postal.	Express.	"
heures.	heures.	heures.	heures.	heures.	heures.	heures.
2,40	4,08 B	4,22 C	4,39	5,28	5,43	6,11
3,46 A	4,11	4,29 DE	4,44 F	5,32	5,47	6,14 1/2
3,48	4,11	4,53	4,47	5,32	5,47	6,14 1/2
3,55	4,15 1/2	4,59	4,53	5,35	5,50	6,18

aile, pour annoncer le train, demande si effectivement elle est bien tombée.
sainville) marche continuellement jusqu'à 4 heures 26, heure à laquelle le chef de
sémaphores).

sa grande aile que la manœuvre faite à 4 heures 29 n'a pas effacée

Observations faites sur les trains impairs (voie de gauche),

Numéros des trains observés.	123	19	21
Nature des trains observés.	Omnibus.	Semi-direct.	Semi-direct.
	heures.	heures.	heures.
Heure à laquelle Orry-la-Ville reçoit électriquement le signal d'annonce envoyé par Survilliers.	"	1,15	2,15
Heure à laquelle Orry-la-Ville ouvre électriquement la voie à Survilliers.	"	1,24 B	2,20
Heure à laquelle Orry-la-Ville couvre le train mécaniquement et l'annonce électriquement à Chantilly.	1,11	1,24 B	2,20
Heure à laquelle Orry-la-Ville voit tomber l'aile de son sémaphore (voie ouverte), manœuvrée électriquement par Chantilly.	1,24 A	1,25	2,29

REMARQUES. { A Le déclanchement paraît n'avoir eu lieu qu'au moment où
(L'accès du sémaphore était incommode.)
B Ces deux manœuvres ont été faites 4 minutes après le pas

Observations faites sur les trains pairs (voie de droite),

Numéros des trains observés.	1824	340	22
Nature des trains observés.	Marchandises.	Marchandises.	Semi-direct.
	heures.	heures.	heures.
Heure à laquelle Orry-la-Ville reçoit électriquement le signal d'annonce envoyé par Chantilly.	1,10	1,25	2,25
Heure à laquelle Orry-la-Ville ouvre électriquement la voie à Chantilly.	1,26	1,38	2,32
Heure à laquelle Orry-la-Ville couvre le train mécaniquement et l'annonce électriquement à Survilliers.	1,26	1,38	2,32 A
Heure à laquelle Orry-la-Ville voit tomber l'aile de son sémaphore (voie ouverte) manœuvrée électriquement par Survilliers.	1,35	1,51	2,37

REMARQUES. { A. L'accusé de réception « train annoncé » n'a pas fonctionné.
B. A 5^h 50', Chantilly demande de faire tomber sa grande aile,

à l'électro-sémaphore d'Orry-la-Ville, le 31 juillet.

407	25	23	125	27	1825
Marchandises.	Express.	Semi-direct.	Omnibus.	Omnibus.	Marchandises.
heures.	heures.	heures.	heures.	heures.	heures.
3,37	4,14	4,40	5,10	5,48	5,54
3,47	4,18	4,47	5,18	5,53	"
3,47	4,18	4,47	5,18	5,5	"
4,01	4,22	4,55	5,23	6,03	"

le train quittait la gare de Chantilly après un stationnement de 3 minutes.
sage du train.

à l'électro-sémaphore d'Orry-la-Ville, le 31 juillet 1874.

900	122	24	28	30	82.
Marchandises.	Omnibus.	Semi-direct.	Semi-direct.	Express.	Express.
heures.	heures.	heures.	heures.	heures.	heures.
2,32	2,59	3,36	4,10	5,14	5,23
2,47	3,11	3,44	4,19	5,22	5,30 B
2,47	3,11	3,44 A	4,19	5,22	5,30
2,58	3,19	3,52	4,25	5,28	5,35

(Voir aux observations du rapport.)
que la manœuvre faite à 5^h 30' n'a pas effacée.

Observations faites sur les trains impairs (voie de gauche),

Numéros des trains observés.	21
Nature des trains observés.	Semi-direct. heures.
Heure à laquelle Chantilly reçoit électriquement le signal d'annonce envoyé par Orry-la-Ville.	"
Heure à laquelle Chantilly ouvre électriquement la voie d'Orry-la-Ville.	"
Heure à laquelle Chantilly couvre le train mécaniquement et l'annonce électriquement à la bifurcation de Senlis.	2,36
Heure à laquelle Chantilly voit tomber l'aile de son sémaphore (voie ouverte) manœuvrée électriquement par la bifurcation de Senlis.	2,38

REMARQUES. { A Le train 407 se gare à Chantilly pour l'express 25.
B Dans cette manœuvre, l'enclanchement de la grande aile ne s'est
C Le train 125 s'est arrêté aux aiguilles nord de Chantilly pour

Observations faites sur les trains pairs (voie de droite),

Numéros des trains observés.	960	122	24
Nature des trains observés.	Marchan- dises. heures.	Omnibus. heures.	Semi- direct. heures.
Heure à laquelle Chantilly reçoit électriquement le signal d'annonce envoyé par la bifurcation de Senlis.	2,45	3,02	3,36
Heure à laquelle Chantilly ouvre électriquement la voie à la bifurcation de Senlis.	non observée A	non observée	non observée.
Heure à laquelle Chantilly couvre le train mécaniquement et l'annonce électriquement d'Orry-la-Ville.	3,45	3,05	3,41
Heure à laquelle Chantilly voit tomber l'aile de son sémaphore (voie ouverte) manœuvrée électriquement par Orry-la-Ville.	3,25	3,45	3,52

REMARQUES. — A. Le train 960 se gare à Chantilly.

à l'électro-sémaphore de Chantilly, le 27 juillet 1874.

407	25	Machine isolée.	23 (de grande ligne).	23 (de Senlis).	125
Marchan- dises. heures.	Express. heures.	"	Semi- direct. heures.	Omnibus. heures.	Omnibus. heures.
3,57	4,31	"	4,46	"	5,24
A	4,35	"	4,54	"	5,32
4,42	4,35	4,37	5,04	5,18	5,33 B
4,46	4,36	4,39	5,07	5,22	5,38 C

produit qu'après trois tours de manivelle (aimant en mauvais état).
une manœuvre.

à l'électro-sémaphore de Chantilly, le 27 juillet 1874.

Marché.	28	752	30 (de Senlis).	30 (de grande ligne).	32	316
"	Semi- direct. heures.	Marchan- dises. heures.	Omnibus. heures.	Express. heures.	Express. heures.	Marchan- dises. heures.
4,07	4,46	4,26	4,49	5,11	5,30	5,55
4,09	non observée	4,28	4,51	5,14	5,32	"
4,09	4,20	"	"	5,15	5,32	"
4,15	4,29	"	"	5,22	5,37	"

Observations faites sur les trains impairs (voie de gauche)

Numéros des trains observés. . .	123	19	21	407	25
Nature des trains observés.	Omnibus.	Semi-direct.	Semi-direct.	Marchandises.	Express.
Heure à laquelle Pierrefitte reçoit électriquement le signal d'annonce envoyé par Saint-Denis.	heures.	heures. Midi 45	heures. 1,40	heures. 2,15	heures. 3,35
Heure à laquelle Pierrefitte ouvre électriquement la voie à Saint-Denis.	heures.	Midi 50	1,45	2,25	3,55
Heure à laquelle Pierrefitte couvre le train mécaniquement et l'annonce électriquement à Gonesse.	Midi 23	Midi 50	1,45	2,25	3,55
Heure à laquelle Pierrefitte voit tomber l'aile de son sémaphore (voie ouverte) manœuvrée électriquement par Gonesse.	Midi 31	Midi 55	1,51	2,33	4,03

REMARQUE. — A. Les trains n^{os} 125, 92

Observations faites sur les trains pairs (voie de droite)

Numéros des trains observés. . .	20	120	922	1010	21
Nature des trains observés.	Direct.	Omnibus.	Marchandises.	Marchandises.	Semi-direct.
Heure à laquelle Pierrefitte reçoit électriquement le signal d'annonce envoyé par Gonesse.	heures. 1,20	heures. 1,48	heures. 1,55	heures. 2,10	heures. 2,55
Heure à laquelle Pierrefitte ouvre électriquement la voie à Gonesse.	1,25	non observée A	non observée A	non observée A	3,00
Heure à laquelle Pierrefitte couvre le train mécaniquement et l'annonce électriquement à Saint-Denis.	1,25 B	1,56 B	2,10 B	2,26 B	3,00 A
Heure à laquelle Pierrefitte voit tomber l'aile de son sémaphore (voie ouverte) manœuvrée électriquement par Saint-Denis.	1,30 C	1,59 C	2,16 C	2,31 C	3,03 C

REMARQUES. { A. Les trains n^{os} 120, 922, 1010, 122 et 123 s'arrêtent à Pierrefitte.
 C. L'effacement mécanique de l'accusé de réception ne se fait pas; en B, l'accusé de réception ne pouvait pas se faire à vue, bien

à l'électro-sémaphore de Pierrefitte, le 23 novembre 1874.

23	125	927	27	127	29	127 bis.	317
Semi-direct.	Omnibus.	Marchandises.	Omnibus.	Omnibus.	Express.	Omnibus.	Marchandises.
heures. 4,10	heures. 4,18	heures. 4,40	heures. 5,11	heures. 5,22	heures. 6,20	heures. 6,29	heures. 6,50
4,14	non observée A	non observée A	5,16	non observée A	6,23	non observée A	6,57
4,14	4,25	4,57	5,16	5,30	6,23	6,36	6,57
4,20	4,34	5,08	5,23	5,39	6,27	6,45	"

127 et 127 bis s'arrêtent à Pierrefitte.

à l'électro-sémaphore de Pierrefitte, le 23 novembre 1874.

340	122	24	Marée.	28	30	32	960	124
Marchandises.	Omnibus.	Semi-direct.	"	Semi-direct.	Express.	Express.	Marchandises.	Omnibus.
heures. 3,07	heures. 3,50	heures. 4,07	heures. 4,26	heures. 5,07	heures. 5,36	heures. 5,48	heures. 5,59	heures. 6,57
3,15	non observée A	4,12	4,29	5,12	5,39	5,51	6,08	non observée A
3,15 B	3,56 B	4,12 B	4,29 B	5,12 B	5,39 B	5,51 B	6,08 B	7,01 B
3,21 C	4,02 C	4,16 C	4,32 B	5,16 C	5,42 C	5,54 C	6,13 C	"

qui tient uniquement à un manque de jeu ou de graissage dans les pièces. — Par suite, que la sonnerie correspondante ait été entendue.

Les remarques que nous avons cru devoir ajouter au bas des tableaux pourraient nous dispenser d'observations; cependant il faut noter: 1° que la voie n'a *jamais été indûment ouverte*; 2° que l'accusé de réception de l'annonce ne s'est pas fait toujours régulièrement; les inventeurs ont remédié, depuis les observations, à cet inconvénient en modifiant la disposition de l'appareil; en effet, sa disposition primitive donnait lieu à un mouvement non uniforme, et le retour de courant pouvait se faire sur bois si l'on ne compensait pas la variation de la résistance par une variation d'effort (*); 3° qu'un grand bras a été *une fois* difficile à enclancher par suite du mauvais état de l'aimant; en supposant même que l'enclanchement eût été impossible, cela ne pouvait pas nuire à la sécurité puisque, la couverture se faisant mécaniquement au poste lui-même, le garde aurait bien vu qu'il ne couvrirait pas et aurait pu agir en conséquence pour les trains suivants; d'ailleurs, ce cas *exagéré* ne s'est pas présenté, et même, dans ces circonstances désavantageuses, le garde a réenclanché le grand bras de son sémaphore au troisième tour de manivelle; 4° que la voie est restée quelquefois (mais rarement) indûment fermée, et n'a été ouverte que sur demande et par une seconde manœuvre, mais il faut observer que cette circonstance ne s'est présentée que dans les tableaux n° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, qui tous relatent des observations faites dans le courant du mois de juillet, et par conséquent portent sur des manœuvres exécutées par un personnel forcément inexpérimenté; 5° enfin dans les grands froids du mois de novembre 1874, les petits bras d'annonce de quelques sémaphores sont tombés plus difficilement, mais il ne faut voir là qu'un défaut tout matériel d'ajustage et de graissage auquel il a été facile de remédier.

(*) Il est arrivé que l'effacement *mécanique* de l'accusé de réception ne s'est pas fait, ce qui tenait uniquement à un manque de jeu et de graissage.

Postes intermédiaires pour le service exceptionnel des courses de Chantilly. — Des postes intermédiaires provisoires ont été établis en quelques heures pour les courses de Chantilly et enlevés le même jour; ces postes ont été placés entre les sémaphores aux points indiqués par le tableau suivant (24 et 31 mai 1874):

		kilomèt.
Sémaphore.	Saint-Denis.	6 ¹⁰⁰
Poste intermédiaire.	»	8 ⁰⁰⁰
Sémaphore.	Pierrefitte.	10 ²⁰⁰
Poste intermédiaire.	»	12 ⁰⁰⁰
Sémaphore.	Gonesse.	14 ⁸⁰⁰
Poste intermédiaire.	»	17 ⁴⁰⁰
Sémaphore.	Goussainville.	19 ⁶⁰⁰
Poste intermédiaire.	»	21 ⁵⁰⁰
Sémaphore.	Louvres.	25 ⁵⁰⁰
Poste intermédiaire.	»	25 ⁵⁰⁰
Poste intermédiaire.	»	27 ⁵⁰⁰
Sémaphore.	Survilliers.	29 ⁶⁰⁰
Poste intermédiaire.	»	31 ⁵⁰⁰
Poste intermédiaire.	»	33 ⁵⁰⁰
Sémaphore.	Orry.	35 ⁰⁰⁰
Poste intermédiaire.	»	36 ⁹⁰⁰
Poste intermédiaire.	»	38 ⁸⁰⁰
Sémaphore.	Chantilly.	41 ⁰⁰⁰

Service spécial à intervalles serrés un jour de courses à Chantilly. — Des expériences intéressantes ont été faites par la compagnie sur ce service spécial, notamment le 31 mai 1874, le 23 mai 1875 et le 28 mai 1876.

Le 31 mai 1874, on a expédié à grande vitesse 16 trains sur la distance de 41 kilomètres qui sépare Chantilly de Paris, et il s'est écoulé en tout 140 minutes entre le départ du premier train et l'arrivée du dernier.

Le 28 mai 1876, un service analogue a eu lieu. Le transport de retour par les 17 trains tracés a compris 8.400 voyageurs dont 4.400 de 1^{re} classe et 4.000 de 2^e classe; il s'est écoulé en tout 129 minutes depuis le départ du premier train jusqu'à l'arrivée du dernier.

Les agents placés aux postes fixes et aux postes intermédiaires ont observé l'heure de passage des trains, et ces observations sont résumées au tableau graphique de la *fig. 12*, Pl. VI. En dehors des données générales sur l'activité et la régularité de la circulation, le graphique met en lumière toutes les circonstances de détail qui montrent avec quelle régularité le système a fonctionné.

QUATRIÈME PARTIE.

Considérations diverses. — Prix de revient.

Mélanges de fils. — Les inventeurs ont paré aux inconvénients des *mélanges de fils* en faisant déclancher le grand bras qui ouvre la voie par un courant de sens contraire à celui par lequel travaillent les postes télégraphiques; la voie ne peut donc pas être indûment ouverte par suite de communication entre les fils des sémaphores et ceux de la télégraphie ordinaire. Quant aux mélanges des fils des sémaphores eux-mêmes, si elle est à redouter, on y obvie en posant l'un d'eux d'un côté de la voie, l'autre de l'autre.

Désaimantation. — La désaimantation n'est pas non plus à craindre, car les aimants Hughes des appareils sont toujours armés, comme cela a été indiqué à la description de l'appareil de manœuvre.

Interruption du circuit. — Enfin il reste à examiner le cas d'une interruption du circuit par rupture de fils ou par toute autre cause. La fermeture de la voie étant exclusivement mécanique, l'interruption du circuit ne peut empêcher sur la double voie que deux choses : la réouverture de la voie en arrière, l'annonce du train en avant; sur la simple voie, l'interruption du circuit empêche l'ou-

verture de la voie au poste même et l'annonce du train en avant.

Supposons sur une ligne à double voie deux postes A et B. Au moment où la rupture des fils se produit entre ces deux postes, il peut y avoir ou non un train engagé dans la section : 1° Dans le premier cas, le sémaphore A est à l'arrêt pour couvrir ce train et le poste B a reçu l'annonce envoyée par A; le train Z circule donc dans les conditions normales jusqu'en B. Mais lorsque ce train Z passera au droit du poste B, le garde de ce poste sera impuissant à ouvrir la voie en A, de même que A est maintenant impuissant à lui annoncer un autre train Z', donc tous les trains Z' Z'' Z''' qui n'étaient pas engagés dans la section au moment de la rupture parcourront cette section (*en Block permissive system*) sans être annoncés, il est vrai, mais en marche lente, puisqu'ils auront tous trouvé le sémaphore A à l'arrêt; ils seront d'ailleurs constamment couverts par ce sémaphore. 2° Dans le second cas où la rupture a lieu, au contraire, alors qu'aucun train n'est dans la section, le train venant après la rupture trouvera la voie ouverte en A, mais l'annonce venant du poste A ne parviendra pas en B, le premier train Z parcourra donc la section en vitesse normale sans être annoncé en B. Les trains suivants rentreront dans le cas des trains Z' Z'' Z''' du paragraphe précédent.

Si donc c'est une chute d'arbre en travers de la voie, un éboulement de pont, etc., qui a produit la rupture, il n'y aura danger que pour le *premier train Z qui parcourra* la section après la rupture. Tous les autres trains sont informés par le sémaphore A qui est à l'arrêt et que le poste B ne peut rouvrir.

Supposons maintenant une ligne à simple voie : le poste A étant obligé de passer par l'intermédiaire du poste B pour ouvrir la voie en A même, la rupture du fil entre A et B bloque d'elle-même la section aux deux bouts, le danger

est donc réduit au train seul qui circulerait dans la section au moment même de la rupture et sur lequel tout système de signaux est évidemment sans prise.

Cette condition de sécurité produite par l'interruption du circuit peut être utilisée : d'abord par les gares qui, en interrompant les communications électriques par un commutateur, bloquent la voie au poste voisin et sont ainsi couvertes à distance, puis par les gardes des postes intermédiaires de la même façon, enfin par les gardes ambulants qui, en cas d'obstacle accidentel, chute d'arbres, écroulement de pont (accident du pont de la Brague, compagnie de Lyon, 1872), rupture de rail, etc., n'ont qu'à couper les fils sémaphoriques au point où est l'obstacle pour bloquer la section aux deux extrémités.

Orages. — Quant aux orages, un coup de foudre direct de sens déterminé et d'intensité comprise entre des limites données, peut seul déclancher les appareils. 1° Le sens déterminé est nécessaire, sinon il y a augmentation de puissance de l'aimant et non diminution. 2° L'intensité doit être comprise entre des limites données, car si le courant de sens convenable est trop faible, il ne produit pas le déclanchement ; si le courant est trop fort, il produit une aimantation suffisante, en sens contraire, pour maintenir l'enclanchement. Les expériences faites pendant plusieurs mois sur la ligne de Chantilly, n'ont pas révélé un seul cas de déclanchement semblable, quoique les mois d'essai aient compris l'été et l'automne de l'année 1874, pendant lesquels les environs de Paris ont subi de violents orages.

Perfectionnement proposé par MM. Heurteau et Guillot de la compagnie d'Orléans. — En étudiant l'application du système au réseau d'Orléans, MM. Heurteau et Guillot ont eu l'idée de chercher une garantie supplémentaire pour parer à la réalisation d'un déclanchement par l'orage. Voici en quoi consiste leur disposition. La voie est fermée en A ; par conséquent un train est engagé dans la section et annoncé

en B ; le grand bras du poste A et le petit bras du poste B sont donc apparents. Les communications électriques sont disposées de telle sorte que pendant tout le temps que les choses sont dans cet état un courant positif est envoyé de B dans l'appareil n° 1 de A ; la force attractive de l'aimant qui enclanche le grand bras A n'en est qu'augmentée. Si dans cette situation et pour une cause quelconque, le grand bras de A est déclanché et tombe, une sonnerie d'alarme se fait entendre dans les 2 postes A et B et les agents sont prévenus ; celui du poste A, notamment, apprend ainsi que son poste est indûment ouvert, et que le train engagé dans la section n'est plus protégé par le jeu normal des appareils ; il correspond alors avec le poste B pour faire rentrer les choses dans la situation normale.

Prix des appareils. Prix élémentaire. — Avant d'examiner le coût d'installation des appareils sur une ligne donnée, nous indiquerons les prix élémentaires.

I. — *Prix des appareils.*

	francs.
Appareil de manœuvre.	400
(Poste extrême.) Pièces du mât y compris échelle et éclairage.	500
(Poste intermédiaire.) Pièces du mât y compris échelle et éclairage.	600
Mât et peinture.	100(variable).
Pile et accessoires.	100

II. — *Prix d'un poste extrême.*

Deux appareils de manœuvre.	800
Pièces du mât y compris échelle et éclairage.	500
Mât et peinture.	100
Pile et accessoires.	100
Pose et imprévu.	100
	1.600

III. — *Prix d'un poste intermédiaire.*

	francs.
Quatre appareils de manœuvre.	1.600
Pièces du mât y compris échelle et éclairage.	600
Mât et peinture.	100
Pile et accessoires.	100
Pose et imprévu.	100
	2.500

Prix d'une installation de ligne sémaphorique. — Pour fixer les idées sur ce que coûte l'application du système à une ligne déterminée, établissons le prix d'installation sur une ligne de 40 kilomètres divisée en 10 sections au moyen de 2 postes extrêmes et de 9 postes intermédiaires.

	francs.
Deux postes extrêmes à 1.600 francs.	3.200
Neuf postes intermédiaires à 2.500 francs.	22.500
40 kilom. de fil à 200 francs le kilomètre.	8.000
Imprévu.	900
	34.600

On peut donc dire que pour une ligne de 40 kilomètres divisée en sections de 4 kilomètres de longueur moyenne, la dépense totale s'élève à 865 fr. par kilomètre environ.

Ce prix varie avec les longueurs des sections, conformément au tableau ci-dessous établi pour une ligne de 40 kilomètres.

LONGUEUR moyenne par section.	PRIX TOTAL.	PRIX par kilomètre.
kilomètres.	francs.	francs.
3	42.000	1.050
4	34.600	865
5	29.600	790
6	27.000	675
7	24.600	615
8	22.000	550

Personnel de manœuvre. — Chaque poste électro-sémaphorique est gardé; un agent unique placé à ce poste même

de manœuvre. Cet agent n'a besoin d'aucune connaissance spéciale. Il convient de citer les termes dans lesquels s'exprimait, devant le comité de la compagnie du Nord, le 23 février 1873, M. Couche, ingénieur en chef des travaux et de la surveillance :

« Quant à la manœuvre des appareils sémaphoriques, elle n'entraînerait ni la création d'un nouveau personnel, ni l'augmentation du personnel exigé d'autre part par les nécessités du service.

Il n'existe aucun organe délicat susceptible de dérangement.

L'agent de l'intelligence la plus ordinaire est capable de le manipuler. L'effort qu'exige cette manœuvre ne dépasse pas d'ailleurs 3 ou 4 kilogrammes.

Dans ces conditions, les employés chargés dans les stations de faire fonctionner les disques, et aux passages à niveau les gardes, hommes ou femmes préposés actuellement aux barrières, pourront desservir les postes sémaphoriques : quelques minutes suffiront pour leur apprendre à se servir des appareils, et le travail supplémentaire qui en résultera pour eux sera absolument insignifiant. »

Entretien des appareils. — L'entretien des électro-sémaphores se compose des éléments suivants :

Nettoyages et menues réparations ;

Surveillance des fils ;

Entretien de la pile et des commutateurs ;

Entretien de la lanterne (huile ou pétrole).

Les nettoyages et l'entretien de la lanterne sont faits par l'agent du poste.

L'entretien de la pile et des commutateurs et la surveillance des fils sont faits par les agents du service télégraphique de la compagnie.

Les frais d'entretien et d'éclairage varient, d'après les renseignements qui nous ont été remis par les inventeurs, de 35 à 55 francs par kilomètre, suivant que les sections sont

de 8 ou de 3 kilomètres. Les frais pour amortissement et intérêts (6 p. 100) varieraient dans les mêmes conditions de 33 à 63 francs par kilomètre.

L'étude qui précède montre que les électro-sémaphores permettent de réaliser le Block-system, avec toutes ses variétés, sur les lignes à double voie et sur les lignes à voie unique. Les manœuvres sont simples; les actions principales sont mécaniques; le rôle de l'électricité est réduit à produire des effets dont le manque cause un surcroît de sécurité. Les conditions de prix, de personnel et d'entretien rentrent dans les conditions normales. Enfin, les signaux sont *faits directement* sur la voie *sans transmission* par des agents. La pratique a réalisé ce que les inventeurs avaient annoncé. Des essais prolongés faits sur les appareils en service ont montré qu'au double point de vue de la *sécurité* et de l'*activité* de la circulation, les électro-sémaphores de MM. Lartigue et Tesse réalisent un très-grand progrès.

NOTE

SUR LA MODIFICATION APPORTÉE
AUX ÉLECTRO-SÉMAPHORES DE MM. LARTIGUE ET TESSE

DANS LE TYPE ADOPTÉ PAR LA C^{ie} D'ORLÉANS.

Par M. R. ZEILLER, ingénieur des mines.

La compagnie d'Orléans vient d'installer sur la section de Paris à Brétigny, la plus chargée de son réseau, les électro-sémaphores de MM. Lartigue et Tesse, mais avec la modification indiquée plus haut par M. Clérault (*) et imaginée par MM. Heurteau, ingénieur des mines attaché à l'exploitation, et Guillot, attaché au service télégraphique de cette compagnie. Le principe adopté étant l'*absolute Block-system*, et non, comme au chemin de fer du Nord, le *permissive Block-system*, il importait d'autant plus de se mettre en garde contre toute perturbation possible dans le jeu des appareils, et c'est dans le but, non d'empêcher, mais de signaler toute irrégularité de fonctionnement qu'ont été conçues les dispositions nouvelles qu'il nous a paru utile de décrire ici avec quelque détail. Les renseignements que nous allons donner sont extraits, textuellement en grande partie, d'une note que M. Heurteau a eu l'obligeance de nous adresser.

En analysant les fonctions des appareils de M. Lartigue, tels qu'il sont en service sur le chemin du Nord, on reconnaît aisément qu'il peut s'y produire deux genres de perturbations.

Il peut arriver d'abord que, par suite d'une circonstance

(*) Voy. *suprà*, p. 220.

quelconque, l'appareil récepteur ne reproduise pas le signal envoyé par l'appareil transmetteur. Ainsi il peut se faire que, lorsque l'agent d'un poste A qui expédie un train donne un tour de manivelle pour couvrir ce train en déployant le bras de son sémaphore, la rapidité de cette manœuvre ou toute autre cause empêche la production du courant électrique qui doit être envoyé au poste B vers lequel le train se dirige et y déclencher le petit bras dont la position horizontale annonce l'arrivée du train. De même on doit prévoir le cas où, lorsque après la réception du train le poste B manœuvre son appareil pour effacer le petit bras de son sémaphore, le courant électrique qui doit déclencher le grand bras correspondant du poste A ne se produirait pas d'une manière efficace. Dans ce dernier cas la voie resterait indûment fermée à l'entrée de la section, et il en résulterait, surtout avec le *Block-system* absolu, de graves perturbations dans le service. Mais les dérangements de ce genre ne peuvent avoir de conséquences graves : ils sont dénoncés immédiatement et automatiquement par l'appareil lui-même, l'agent qui a fait le signal ne recevant pas l'accusé de réception que l'appareil doit lui fournir. On peut, au moyen d'une consigne très-simple, indiquer aux gardes des différents postes ce qu'ils ont à faire en pareil cas pour rentrer dans l'ordre (*).

Il n'en est pas de même pour les perturbations d'un autre ordre, celles qui peuvent résulter d'un mélange de fils ou de l'influence de l'électricité atmosphérique. Ces perturbations ne peuvent, il est vrai, résulter, ainsi que M. Clérault l'a fait remarquer, que d'un concours de circonstances assez peu probables, et en fait elles ne paraissent pas s'être manifestées depuis que les électro-séma-

(*) Voir plus loin (p. 234) les articles 14 et 15 de l'*ordre spécial* de la compagnie d'Orléans réglant le service des électro-sémaphores : ils indiquent précisément aux agents la manœuvre à faire pour remédier à cette irrégularité.

phores sont en service sur le chemin de fer du Nord. On ne peut nier cependant qu'elles soient possibles. Leur effet pourrait être, soit d'annoncer indûment un train en aval, soit de donner indûment en amont le signal de *voie libre*, alors que la section serait en réalité occupée par un train, et cette dernière indication serait d'autant plus dangereuse que le garde du poste qui la recevrait n'aurait aucun moyen de contrôle permettant d'en reconnaître la fausseté. Pour écarter cette cause de danger, il suffisait de trouver ce moyen de contrôle. Voici comment MM. Heurteau et Guillot y sont arrivés.

On n'a pas oublié le rôle que joue dans les appareils du chemin de fer du Nord le *petit voyant intérieur* par lequel le poste qui vient de transmettre un signal reçoit l'accusé de réception de l'effet régulièrement produit au poste correspondant. C'est l'instrument de contrôle par lequel toute irrégularité ou tout retard dans la transmission d'un signal sont immédiatement dénoncés. Il était naturel de se servir de ce même organe pour donner aux agents des postes électro-sémaphoriques le moyen de reconnaître les effets accidentels de causes perturbatrices telles que l'électricité atmosphérique et de les distinguer des signaux régulièrement transmis.

A cet effet, le commutateur central, ou inverseur, de l'appareil a été modifié : la touche A, qui forme l'une des extrémités de la communication diamétrale AE des *fig. 5 à 8* de la Pl. V, a été dédoublée (V. Pl. VII, *fig. 1 à 5*) ; le frotteur ou contact à ressort K de l'appareil n° 1 a été dédoublé de même et divisé en deux frotteurs distincts, l'un K communiquant avec l'électro-aimant principal, l'autre K' communiquant avec l'électro-aimant R du voyant intérieur. Un frotteur spécial M a été ajouté, communiquant avec une sonnerie trembleuse spéciale S, placée dans l'appareil n° 1. Une sonnerie à un coup S' a été ajoutée, d'autre part, à l'appareil n° 2 (V. Pl. VII, *fig. 1 et 2*). Les touches

de l'inverseur de l'appareil n° 2 sont disposées de telle sorte que, lorsque le petit bras correspondant à cet appareil est déclanché, c'est-à-dire pendant tout le temps qu'un train est engagé sur la section AB et est, par suite, annoncé en B et couvert en A, un courant positif est envoyé sur la ligne par l'appareil n° 2 de B et reçu dans l'appareil n° 1 de A. Ce courant, en passant dans l'électro-aimant principal de l'appareil n° 1 de A, y développe une aimantation de même signe que celle que possède déjà l'aimant fixe; il en augmente donc l'énergie et rend l'appareil plus réfractaire aux influences perturbatrices. Tout courant étranger de signe contraire qui, dans le système ordinaire, pourrait agir sur l'électro-aimant de l'appareil n° 1 du poste A pour y déclancher irrégulièrement le grand bras du sémaphore et ouvrir la voie, tout courant de ce genre, disons-nous, serait probablement neutralisé par le courant permanent positif qui vient du fil de ligne. Un premier effet de cette disposition est donc de rendre infiniment peu probables les perturbations occasionnées par des influences atmosphériques ou des mélanges de fils.

Supposons néanmoins que ces perturbations se produisent et que le grand bras du sémaphore du poste A soit déclanché par une cause accidentelle, sans que l'appareil n° 2 du poste B ait été manœuvré: le courant permanent émis par ce dernier appareil a alors pour effet de ramener immédiatement au rouge le petit voyant intérieur de l'appareil n° 1 de A; la position de ce petit voyant et celle du grand bras correspondant du sémaphore se trouvent alors discordantes, et cette discordance suffirait pour signaler à l'attention des agents la perturbation qui s'est produite. Mais, pour les avertir plus sûrement, le même courant électrique qui a ramené au rouge le voyant de l'appareil n° 1, actionne la sonnerie trembleuse S, dont le fonctionnement annonce la perturbation. L'agent, prévenu par cette sonnerie d'alarme, peut rectifier son appareil en suivant des prescriptions très-

simples qui peuvent lui être données à l'avance d'une manière précise (*), à moins qu'il ne s'agisse d'un dérangement majeur à la suite duquel le fonctionnement de l'appareil doit être momentanément suspendu.

Les *fig. 1* et *2* (Pl. VII) représentent le diagramme du dispositif adopté pour réaliser ces combinaisons. Les appareils n° 1 et n° 2 des deux postes A et B d'entrée et de sortie d'une section y sont représentés dans la position qui correspond à la voie libre.

Les *fig. 3* et *4* représentent les appareils n° 1 et n° 2 d'un même poste; l'appareil n° 2 de la *fig. 4* est dans la position correspondant à voie occupée, le petit bras est déclanché: on voit que dans cette position un courant positif permanent est envoyé dans le fil de ligne par *d'axal*.

On remarque, en outre, sur les *fig. 1* à *4*, que le pôle négatif de la pile peut communiquer avec la terre par le conducteur spécial $\delta\delta\delta$, qui se sectionne à son passage dans chaque appareil d'un même poste, et dont les tronçons sont réunis par le contact métallique $\epsilon\epsilon'$. Le circuit se trouve ainsi fermé pour permettre l'émission permanente d'un courant positif dans le fil de ligne; mais le conducteur $\delta\delta\delta$ est rompu pendant la manœuvre, grâce à une came φ montée sur le contour de l'inverseur O, et qui vient écarter ϵ' de ϵ pendant que l'appareil envoie sur la ligne un courant négatif. Il résulte de cette disposition qu'une pile unique peut être employée dans un poste pour un nombre indéterminé d'appareils, et que l'émission permanente du courant positif par un appareil n° 2 d'un poste ne gêne pas les émissions de courants de signe contraire qu'auraient à faire pendant ce temps les autres appareils du même poste. C'est ce que démontre l'inspection des *fig. 3* et *4*: l'appareil n° 1 est représenté sur la *fig. 3* pendant la manœuvre d'enclenchement, dans la position intermé-

(*) Voir plus bas (p. 254) les articles 16 à 18 de l'ordre spécial.
TOME XII, 1877.

diaire qui correspond à l'envoi sur la ligne d'un courant négatif; à ce moment, la came φ de l'appareil n° 1 rompant le contact es' , la communication du pôle négatif de la pile avec la terre se trouve interrompue; l'émission d'un courant positif par l'appareil n° 2 se trouve ainsi suspendue pendant un instant très-court pour permettre l'émission d'un courant négatif par l'appareil n° 1.

Examinons, maintenant que nous avons expliqué comment l'appareil n° 2 peut émettre, dans sa position de déclenchement, un courant positif permanent, quelles sont les dispositions prises pour utiliser ce courant dans l'appareil n° 1. Les modifications que nous avons indiquées tout à l'heure dans les touches de l'inverseur de cet appareil réalisent les conditions suivantes :

1° Quand l'appareil est déclenché (*fig. 1*), ce qui correspond à la voie libre, l'électro-aimant du voyant intérieur est seul en communication avec la ligne, par LAXEK'.

2° Quand l'appareil est enclenché (*fig. 5*), ce qui correspond à voie fermée, l'électro-aimant de la grande aile et celui du voyant intérieur communiquent l'un et l'autre avec le fil de ligne, le premier par LEXAK, le second par LEXAK'.

3° Dans toute autre position, ces deux électro-aimants sont isolés du fil de ligne.

On remarquera de plus (V. *fig. 7*) que le ressort de contact K' ne communique pas directement avec l'électro-aimant R du voyant intérieur : cette communication n'a lieu que par l'intermédiaire du conducteur *ii*, dont l'extrémité est solidaire de l'axe de rotation du voyant lui-même, et se termine par un appendice à ressort, oscillant entre deux vis v et v' qui limitent sa course. Cet appendice fait l'office de commutateur. Lorsqu'il se trouve en contact avec la vis v , ce qui correspond à la position du voyant

mis au blanc, le courant qui pourrait suivre le conducteur *ii* serait dirigé dans l'électro-aimant R. Quand, au contraire, l'appendice est en contact avec la vis v' , le courant est dirigé dans la sonnerie trembleuse S, dont la fonction, avons-nous dit, est de signaler toute discordance entre les indications des signaux à vue. D'ailleurs le conducteur *jj*, qui doit compléter, avec le frotteur M et la touche de terre D de l'inverseur, le circuit de la sonnerie S, ne se trouve en contact avec cette touche de terre D par l'intermédiaire du ressort M que quand l'appareil est dans la position correspondant au déclenchement du grand bras du sémaphore, comme *fig. 1*. Trois conditions sont donc nécessaires pour que la sonnerie trembleuse S entre en action : 1° la présence dans le fil de ligne d'un courant permanent; 2° le déclenchement et la chute de l'armature du voyant intérieur; 3° l'effacement de la grande aile du sémaphore dans la position de déclenchement.

Lorsque l'appareil est manœuvré régulièrement, les dispositions que nous venons de décrire ne modifient et ne compliquent en rien son fonctionnement. Tout se passe comme dans l'appareil du chemin de fer du Nord, avec cette seule différence qu'un courant permanent, émis par l'appareil n° 2 du poste d'aval d'une section sur laquelle un train est engagé, vient augmenter la stabilité du signal qui ferme la voie à l'entrée de la section. Il suffit en effet de se reporter d'une part aux explications données par M. Clérault (V. plus haut, p. 185), sur la marche des courants, et d'autre part aux *fig. 1 à 5* de la Pl. VII, pour constater que dans la manœuvre régulière tout se passe comme dans les appareils de M. Lartigue.

La position n° 1 est représentée *fig. 1* pour l'appareil n° 1, et *fig. 4* pour l'appareil n° 2. On voit qu'il n'y a pas de communication entre le fil de ligne et l'électro-aimant principal; mais il y a communication dans l'appareil n° 1 entre le fil de ligne et l'électro-aimant R du voyant inté-

rieur, et dans l'appareil n° 2 un courant positif est envoyé dans le fil de ligne.

La position n° 3 est représentée de même *fig. 5* pour l'appareil n° 1, et *fig. 2* pour l'appareil n° 2; l'appareil communique avec la ligne et peut recevoir un signal, mais les pôles de la pile sont isolés.

Enfin, pour les positions de passage désignées par M. Clé-
rault sous les nos 2 et 4, tout se passe ici comme dans les électro-sémaphores de la compagnie du Nord, les touches B, C, F et G n'ayant été l'objet d'aucune modification. La position de passage n° 2 est, du reste, représentée *fig. 3*.

Supposons maintenant que, pendant qu'un train est engagé sur la section, couvert en arrière, annoncé avant, une cause perturbatrice produise le déclenchement de l'appareil n° 1 du poste d'amont et efface indûment le grand bras du sémaphore qui couvre le train. Les effets successifs de ce déclenchement irrégulier seront les suivants :

1° L'armature du voyant intérieur sera ramenée mécaniquement au contact de l'électro-aimant R; l'appendice qui termine le conducteur *i* viendra ainsi au contact de la vis *v*.

2° Pendant tout le temps de l'évolution de l'inverseur O, toute communication est supprimée entre le fil de ligne et les électro-aimants.

3° Quand la grande aile est complètement effacée (*V. fig. 1*), le fil de ligne L se trouve en communication avec l'électro-aimant R, par AXEK'*iv*. Le courant positif, émis par l'appareil n° 2 du poste correspondant, passe dans l'électro-aimant R et détermine le déclenchement de l'armature, c'est-à-dire la mise au rouge définitive du voyant qui se met ainsi en discordance avec la grande aile. Par suite de ce mouvement, l'appendice qui termine le conducteur *i* quitte la vis *v*, pour se porter au contact de la vis *v'*. L'électro-aimant R se trouve alors isolé, et le cou-

rant est dirigé dans la sonnerie d'alarme S. A ce moment l'évolution de l'inverseur étant terminée, la touche de terre D est en contact avec le ressort M. Toutes les conditions nécessaires au fonctionnement de la sonnerie S sont alors remplies; cette sonnerie entre en action, et elle percuté jusqu'à ce que les appareils soient rectifiés de manière à rétablir la concordance des appareils n° 1 et n° 2 des deux postes en correspondance (*).

Des effets analogues se produisent dans le cas où, les appareils correspondants des deux postes A et B étant dans la position correspondant à voie libre (*V. fig. 1 et 2*), un courant étranger dû à une cause perturbatrice actionnerait l'appareil n° 2 de B et y donnerait indûment le signal d'annonce d'un train. Dans ce cas, le petit bras de B étant déclenché, l'inverseur se trouverait dans la position d'émission d'un courant positif permanent, représentée *fig. 4*. Ce courant, reçu par l'appareil n° 1 de A, serait dirigé d'abord dans l'électro-aimant R, et mettrait au rouge le voyant intérieur en déterminant sa chute, puis dans la sonnerie d'alarme. L'irrégularité se trouverait donc dénoncée au poste A. Elle le serait en même temps au poste B, au moyen de la sonnerie à un coup S' placée dans l'appareil n° 2, qui, dans le fonctionnement régulier de l'appareil, annonce par un coup de timbre tout signal transmis par cet appareil: cette sonnerie, se trouvant placée dans le même circuit que la sonnerie S, bat en trembleuse d'accord avec elle toutes les fois que celle-ci entre en action, et reproduit par conséquent au poste B les indications fournies par la sonnerie d'alarme au poste A.

Ainsi, dans tous les cas, les irrégularités qui peuvent survenir dans le fonctionnement des appareils sont immé-

(*) Il est à remarquer qu'alors, le courant positif qui vient de l'appareil n° 2 du poste B se trouvant interrompu à chaque coup de la trembleuse, la sonnerie à un coup S', placée dans le circuit, dans cet appareil n° 2, se mettra également à carillonner.

diatement dénoncées aux deux postes, et les agents de ces postes ne peuvent confondre les indications dues à des causes perturbatrices avec celles qui sont normalement transmises par les postes correspondants. Il est facile alors de leur donner le moyen de rectifier ces fausses indications dès qu'elles se produisent. Pour en rendre compte, il nous suffira de reproduire ici les articles de l'*ordre spécial* qui règlent les mesures à prendre en cas de dérangement dans le service des électro-sémaphores.

Art. 14. — Si l'agent d'un poste qui expédie un train, après avoir manœuvré son appareil n° 1 pour couvrir ce train à l'arrière, ne reçoit pas l'accusé de réception qui doit lui être donné par la mise en rouge du petit voyant intérieur, cet agent doit en conclure que le train n'a pas été effectivement signalé au poste suivant comme il devait l'être par l'apparition de l'aileron.

Cet agent doit alors se mettre immédiatement en communication télégraphique avec le poste vers lequel le train se dirige.

L'agent de ce second poste étant ainsi prévenu, doit faire tomber son aileron en tirant la tringle (*) disposée à cet effet au-dessous et à droite de l'appareil n° 2.

Art. 15. — Si l'agent d'un poste qui reçoit un train, après avoir manœuvré l'appareil n° 2 pour effacer son aileron et en même temps la grande aile du poste précédent, ne reçoit pas, par la mise au blanc du petit voyant intérieur, l'assurance que ce dernier effet a été réellement produit, il doit, au moyen de la tringle disposée à cet effet au-dessous et à droite de l'appareil n° 2, faire tomber son aileron, puis recommencer la manœuvre.

Ces deux articles 14 et 15 prévoient le cas, indiqué plus haut (p. 226), où un signal fait normalement par un poste n'aurait pas été reçu au poste correspondant.

Art. 16. — S'il arrive qu'un poste ayant expédié un train, et la grande aile de son sémaphore étant par conséquent développée, cette grande aile s'efface, et que, cette grande aile étant effacée, le petit voyant intérieur de l'appareil n° 1 soit cependant maintenu au rouge, si en même temps le carillon d'alarme de cet appareil n° 1 est mis en action, le poste qui reçoit ces signaux en doit conclure que la grande aile de son sémaphore a été effacée par une cause accidentelle, et sans que le train expédié ait été réelle-

(*) Cette tringle, qui s'attache à l'anneau d (fig. 3, Pl. V), est signalée par M. Clérault, *suprà*, p. 180 et 181.

ment reçu par le poste suivant. Il doit alors immédiatement manœuvrer son appareil n° 1 de manière à faire apparaître de nouveau l'aile de son sémaphore.

Art. 17. — Si l'aileron d'un électro-sémaphore se développe comme pour annoncer un train se dirigeant vers le poste, et si en même temps la sonnerie à un coup qui annonce ordinairement les signaux transmis sonne comme une trembleuse avec persistance, l'agent de ce poste doit considérer que ce signal a été reçu à tort.

Pour s'en assurer, il doit se mettre en communication télégraphique avec le poste qui le précède dans le sens du train que ce signal semble annoncer, et lui demander si un train a été effectivement expédié. S'il reçoit une réponse négative, il doit donner à ce même poste l'ordre de manœuvrer son appareil n° 1 comme pour annoncer un train, puis, après avoir reçu l'assurance que cette manœuvre a été effectuée et qu'aucun train n'a été expédié du poste correspondant, il manœuvre son appareil n° 2 pour effacer son aileron.

Art. 18. — Si le carillon d'alarme de l'appareil n° 1 d'un poste est en action, ou si la sonnerie à un coup dont est muni l'électro-sémaphore sonne en trembleuse avec persistance, sans qu'il se soit produit aucun changement dans la position des signaux du poste, l'agent de ce poste doit conclure qu'un dérangement s'est produit au poste correspondant et il doit de suite se mettre en communication télégraphique avec ce poste.

Ces articles 16 à 18 sont relatifs aux cas prévus en dernier lieu, où le déclanchement d'un des deux appareils viendrait à se produire indûment, par l'effet, soit d'un courant atmosphérique, soit d'un mélange de fils.

Mais il pourrait aussi se produire une autre anomalie, légère à la vérité. La voie étant libre et les appareils étant dans la position représentée fig. 1 et 2, l'électro-aimant R de l'appareil n° 1 communique avec le fil de ligne : il peut accidentellement survenir dans ce fil un courant d'intensité et de sens tels qu'il déclanche ce voyant intérieur sans produire d'effet dans l'appareil n° 2 du poste B. C'est là un dérangement sans grande importance qui n'aurait d'autre inconvénient que de supprimer l'accusé de réception pour la première manœuvre à exécuter par l'appareil n° 1 du poste A, puisque, d'avance, le voyant intérieur se trouverait mis au rouge.

L'article 19 prévoit ce cas, en indiquant aux agents qu'ils n'ont pas à s'en préoccuper :

Art. 19. — Si le voyant intérieur d'un appareil n° 1 se mettait au rouge, la grande aile étant effacée, et sans que le carillon d'alarme de cet appareil n° 1 fût mis en action, le poste qui reçoit ce signal doit ne considérer ce fait que comme un dérangement accidentel dont il n'a pas à tenir compte.

Les autres dérangements qui pourraient survenir seraient des dérangements majeurs nécessitant une réparation des fils ou des appareils, et ce dernier cas, qui ne peut se présenter que très-rarement, est prévu par l'article 20 ci-dessous :

Art. 20. — Si dans les cas prévus aux articles 14, 15, 16, 17, 18, le dérangement qui s'est produit persiste après l'exécution des manœuvres ci-dessus prescrites, et en général toutes les fois que l'agent responsable de la manœuvre d'un électro-sémaphore constate dans son fonctionnement un dérangement autre que ceux qui sont prévus aux articles 14, 15, 16, 17, 18, 19 ci-dessus, cet agent doit prévenir par la voie la plus prompte le contrôleur du télégraphe de la section.

Avis de cette circonstance est immédiatement donné par la voie la plus prompte aux postes correspondants intéressés à la connaître.

Jusqu'à l'arrivée du contrôleur du télégraphe, le service des appareils pour lesquels ce dérangement a été constaté, ainsi que celui des appareils correspondants, doit être suspendu. L'agent responsable du service de l'électro-sémaphore doit alors, au moyen de la clef dont il est muni à cet effet, démonter la tringle qui commande la grande aile de son sémaphore, de manière à pouvoir la manœuvrer à la main, et s'en servir provisoirement comme d'un disque manœuvré à la main, pour assurer entre les trains qui se suivent l'intervalle de temps réglementaire.

On peut, dans ces conditions, considérer l'emploi des électro-sémaphores comme assurant parfaitement la sécurité, la modification due à MM. Heurteau et Guillot ayant fait disparaître les seules craintes qu'on pouvait encore avoir de perturbations dans leur fonctionnement, et ayant écarté toute cause de danger.

24 octobre 1877.

MÉMOIRE

sur

LA MÉTALLURGIE DU NICKEL

Par M. BADOUREAU, élève-ingénieur des mines.

INTRODUCTION.

La découverte récente de mines de nickel en Nouvelle-Calédonie a donné à ce métal, surtout dans notre pays, une importance toute nouvelle.

Dans le voyage de mission que j'ai fait l'été dernier en Italie, en Autriche et en Hongrie avec mes camarades de l'École des mines, MM. Roche, élève ingénieur des mines, et Mofre, ancien élève de l'École polytechnique, j'ai été à même d'avoir, sur la métallurgie du nickel, un certain nombre de renseignements directs ou indirects que j'ai réunis dans le présent mémoire.

On exploite en Italie, dans le *Val Sesia*, près de *Varallo*, plusieurs mines de nickel; j'en ai visité deux. La première est située à la *Cevia* et appartient au roi de Saxe. Elle fournit par an 800 tonnes de minerais, que l'on concentre à l'état de matte dans l'usine de la *Sesia*, près *Varallo*. Cette matte est expédiée à *Oberschlemma*, en Saxe, où l'on fabrique des cubes de nickel et des verres bleus de cobalt. M. Fey, ingénieur du roi de Saxe, a eu l'obligeance de me montrer en détail l'usine de la *Sesia*, et de me donner quelques renseignements succincts sur l'usine d'*Oberschlemma*. La seconde mine de nickel que j'ai visitée dans le *val Sesia* est située à *Sella Bassa*, et appartient à MM. Havemann et

Polemman. Elle produit par an 2.000 tonnes de minerais, qui sont traités dans l'usine de *Scopello* pour cubes de nickel et pour oxyde brut de cobalt.

Il n'y a en Autriche que deux mines de nickel un peu importantes : la première est située à *Leogang*, près *Zellam-See* (Salzburg) et l'autre à *Schladming* (Haute-Styrie). La mine de *Leogang* a produit en 1874, 156 tonnes de minerais contenant 37 tonnes de nickel. L'usine de *Leogang* prépare des speiss dont elle vend une partie et dont elle traite elle-même une autre partie. J'ai connu trop tard l'existence de cette mine et de cette usine pour les visiter, mais j'ai emprunté à un article publié en 1867, par M. Kleinschmidt, dans le *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, un certain nombre de renseignements sur la métallurgie du nickel dans cette localité. La mine de *Schladming* peut produire par an 30 tonnes de minerais riches pour le traitement desquels sont installées les usines de *Hopfriesen* et *Mandling*. Cette mine et ces usines ont fait, en 1860, l'objet d'un intéressant mémoire de M. Fuchs, auquel j'ai fait plusieurs emprunts. Depuis la visite de M. Fuchs, d'importantes modifications avaient été introduites dans les usines de *Schladming*, quand elles ont dû s'arrêter en 1867 pour des raisons de famille. Depuis cette époque, l'un des propriétaires, M. Rudolph Flechner, a dirigé en Suède l'exploitation d'une mine de nickel située à *Sågmyra*, près *Falun*. Cet ingénieur m'a donné très-obligeamment des renseignements détaillés sur les usines de *Schladming* et de *Sågmyra*. L'usine de *Sågmyra* transforme par an 6.000 tonnes de minerais en 100 tonnes de mattes. Le traitement de ces mattes s'achève aujourd'hui dans l'usine de *Victoria*, à *Namburg* (Silésie prussienne); mais dans peu de temps il s'achèvera dans l'usine même de *Sågmyra*.

L'usine impériale et royale de *Brixlegg* (Tyrol) traite quelquefois des minerais nickelifères et cobaltifères; elle

n'en traitait pas lorsque je l'ai visitée, mais M. l'ingénieur en chef Turner m'a donné à cet égard quelques renseignements qui figurent dans ce mémoire.

Près de *Dobsina* (en allemand *Dobschau*), en Hongrie, on exploite un grand nombre de mines de nickel et de cobalt. La principale, la mine de *Zemberg*, produit par an 90 tonnes de minerais riches et 300 tonnes de minerais pauvres. Le minerai riche est vendu soit à l'usine de *Losoncz* (Hongrie), soit aux usines de *Oberschlemma* ou *Iselon* (Saxe), soit à celle de *Birmingham* (Angleterre). Les minerais pauvres sont concentrés dans l'usine de *Georges*, située à *Gniletz*, près *Dobsina*; le speiss produit est en partie vendu et en partie transformé dans l'usine même en cubes de nickel et en oxyde de cobalt. L'ingénieur, M. Kauffmann, m'a montré en détail la première partie du traitement, mais ne m'a donné que quelques renseignements succincts sur le traitement des speiss. M. Kleinschmidt a publié en 1867, dans le *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, sur la métallurgie du nickel et du cobalt, principalement à *Dobsina*, un intéressant mémoire auquel j'ai fait plusieurs emprunts. L'usine de *Losoncz*, près *Fulek* en Hongrie, traite des minerais riches de *Dobsina* (Hongrie), des speiss fabriqués à *Leogang* (Salzburg) et des mattes fabriquées à *Klefva* (Suède). Elle fabrique des cubes de nickel, des maillechorts et des oxydes de cobalt. Mais loin de me montrer ces diverses fabrications, le directeur a cherché à me convaincre que l'on ne fabriquait dans son usine qu'un speiss riche dont le traitement s'achevait à *Barendorf*. L'usine de *Barendorf*, près *Vienne*, est dirigée par M. Krupp, le frère du célèbre sidérurgiste. L'accès de cette usine est rigoureusement impossible. Elle ne traite pas seulement les produits de l'usine de *Losoncz*, elle achète en outre à l'Angleterre du nickel en cubes, à l'Amérique du nickel en cubes et du nickel en grains, et à la Suède du nickel en poudre. On y fabrique

du nickel pur, des alliages de nickel et de cuivre, et peut-être aussi des verres de cobalt.

Telles sont les sources des différents renseignements au moyen desquels j'ai pu rédiger le présent mémoire. Tous se rapportent au traitement des minerais sulfurés et arséniés. Le traitement de ces minerais comprend trois parties :

1° Concentration du minerai par une série de grillages et de fusions, et formation d'une matte ou d'un speiss;

2° Transformation de cette matte ou de ce speiss en oxyde de nickel et en oxyde de cobalt, par voie sèche ou par voie humide;

3° Réduction de l'oxyde de nickel et silicatisation de l'oxyde de cobalt.

Je m'occuperai successivement de ces trois sortes d'élaborations, et je réserverai pour un chapitre spécial les renseignements que j'ai pu obtenir au sujet du traitement du silicate de nickel que fournissent les mines de la Nouvelle-Calédonie. J'ai transformé dans le système métrique toutes les unités de longueur et de poids. J'ai conservé à la lire et au florin leurs valeurs théoriques de 1 franc et de 2^f,50, bien que, en raison de la dépréciation du papier-monnaie, la lire n'ait valu, pendant mon séjour en Italie, que 0^f,95 à 0^f,96, et le florin, pendant mon séjour en Autriche, 2^f,00 à 2^f,10.

Il ne me reste plus qu'à adresser mes remerciements aux ingénieurs qui ont bien voulu m'accueillir dans leurs usines, et à mes compagnons de voyage qui m'ont aidé de leur concours amical.

CHAPITRE I^{er}.

MINÉRAUX DU NICKEL.

Les minéraux du nickel peuvent se rapporter à trois types principaux : 1° minéraux sulfurés ; 2° minéraux arséniés et arsénio sulfurés ; 3° minéraux oxydés.

§ 1. — Minéraux sulfurés.

1° La *millérite* NiS est un minéral assez rare. Il se présente en cristaux rhomboédriques et en aiguilles fines. Il a l'aspect et la couleur du bronze. On l'a trouvé en Bohême, à Joachimsthal et à Przibram, en Saxe à Johanngeorgenstadt, au Harz à Andreasberg, en Angleterre à Merthyr Tydvil et en Amérique à Sterling.

2° Le *sulfure double de nickel et de fer* NiS, FeS se rencontre fréquemment à l'état d'un mélange intime avec la pyrite magnétique de fer Fe³S⁸. Ces deux matières constituent des filons puissants au milieu du granite (Suède), de la diorite (Val Sesia) ou du porphyre (Écosse). Voici l'analyse d'un échantillon exceptionnellement riche provenant d'Inverary (Écosse) :

Ni.	22,0
Fe.	44,1
S.	30,0
SiO ² , MgO.	5,2
	99,3

§ 2. — Minéraux arséniés et congénères.

1° Le *nickel arsenical blanc* NiAs se trouve quelquefois cristallisé en octaèdres. Il a l'aspect métallique et une couleur variable du blanc d'étain au gris clair. Voici, d'a-

près le traité de docimasie de M. Rivot, auquel d'ailleurs j'ai fait plusieurs emprunts dans ce chapitre, l'analyse de deux échantillons de nickel blanc très-pur :

Nickel blanc de Schneeberg.

Ni.	28,14
Bi.	2,19
Cu.	0,50
As.	71,30
S.	0,14
	<hr/>
	102,27

Nickel blanc de Riechelsdorf.

Ni.	20,74
Co.	3,37
Fe.	3,25
As.	72,64
	<hr/>
	100,00

Voici, d'après M. Fuchs, l'analyse d'un échantillon de nickel blanc de Schladming :

Ni.	13,4
Co.	5,0
Fe.	13,3
As.	60,5
S.	5,4
	<hr/>
	97,6

2° Le *kupfernickel* Ni^2As , généralement amorphe, se présente exceptionnellement en cristaux hexagonaux. Il a une couleur rouge de cuivre, une grande densité et une grande dureté. On l'appelle aussi *nickel rouge* et *nickeline*. Voici quatre analyses de ce minéral :

	RIEHELSDORF.	AYER.	SCHLAMING.	VALAIS.
Ni.	44,2	43,5	30,6	20,3
Co.	»	0,3	2,2	4,0
Fe.	0,3	0,5	8,9	12,2
As.	54,7	54,0	51,0	55,7
S.	0,4	2,2	4,2	1,8
Gangue. . .	»	0,2	»	6,2
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	99,6	100,7	96,9	100,2

3° La *Breithauptite* Ni^2Sb a été trouvée à Andreasberg au Harz sous forme de lamelles hexagonales d'un rouge de cuivre violacé. Elle contient théoriquement 31,3 p. 100 de nickel.

4° L'*arsenio-antimoniure* Ni^2As , Ni^2Sb a été trouvé à Balen dans les Pyrénées. En voici une analyse :

Ni.	33,0
Fe.	1,4
As.	33,0
Sb.	27,8
S.	2,8
Quartz. . . .	2,0
	<hr/>
	100,0

5° Le *nickel gris*, qu'on appelle aussi *Gersdorffite*, Ni^2AsS^2 cristallise en cubes; il a une couleur gris de plomb et est très-fragile. En voici quatre analyses :

	LOOS (Suède).	HARZGERODE (Harz).	KAMSDORF (Thuringe).	SCHLADMING (Styrie).
Ni.	29,94	30,30	27,00	38,42
Co.	0,92	»	»	»
Fe.	4,11	6,00	11,00	2,09
As.	45,37	44,87	48,00	42,52
Sb.	»	traces	»	»
S.	19,34	18,83	14,00	14,22
Quartz. . . .	0,90	»	»	1,87
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	100,58	100,00	100,00	99,12

6° L'*antimonio-sulfure* Ni^2SbS^2 se trouve associé au nickel gris. En voici deux analyses :

	FREUSBURG.	SIEGEN.
Ni.	25,25	26,10
S.	15,25	16,40
As.	11,75	9,94
Sb.	47,75	47,56
	100,00	100,00

§ 3. — Minéraux oxydés.

1° L'*annavergite* se présente en efflorescences verdâtres sur les minerais de nickel arséniés. C'est un arséniate qui répond à la formule AsO^5 , $5NiO$, $9Ho$. En voici deux analyses :

	RIEHELSDORF.	SCHNEEBERG.
AsO^5	56,97	58,50
SO^3	0,25	»
NiO	57,35	56,20
CoO	»	1,53
FeO	1,15	»
HO	24,32	25,91
	100,00	99,94

2° L'*hydrocarbonate de nickel* se présente en efflorescences sur les minerais sulfurés magnétiques. En voici deux analyses :

	TEXAS.	PENNSYLVANIE.
NiO	58,81	56,82
MgO	»	1,62
CO^2	11,69	11,65
HO	29,69	29,87
	100,19	99,94

3° La *pimélite* (variété *Garniërite*) découverte par M. Garnier en Nouvelle-Calédonie et ultérieurement retrouvée en Espagne, en Russie, etc., est un hydrosilicate de nickel et de magnésie, dans lequel l'oxyde de nickel et la magnésie paraissent se remplacer en proportion variable, et qu'on pourrait appeler d'après sa composition *nickelo-*

talcite. Ce minéral se rencontre mélangé à de l'oxyde de fer, à de l'argile et à des traces de fer chromé, et d'oxydes de manganèse et de cobalt. Suivant que le minéral est plus ou moins hydraté, il présente une compacité variable. On peut considérer à cet égard, d'après M. Christoffe, les trois variétés suivantes :

COULEUR.	COMPACITÉ.	TENEUR EN NiO .	TENEUR EN HO .
Vert émeraude.	Dur.	20	5
Vert jaunâtre.	Un peu friable.	12 à 15	10 à 15
Blanc bleuâtre.	S'écrase sous les doigts.	6 à 8	20

CHAPITRE II.

MINERAIS DU NICKEL.

Les minerais de nickel se rapportent à trois types principaux : 1° pyrite de fer magnétique et nickelifère ; 2° minéral arsenical en général riche en nickel et cobalt ; 3° silicate de nickel.

§ 1. — Pyrite nickelifère.

Comme exemple de cette première classe de minerais, on peut citer les minerais du Val Sesia. Près de Varallo les micaschistes et les gneiss sont traversés par un massif dioritique de 20 kilomètres de long et de 4 kilomètres de large. Ce massif est orienté N. 20° E. ; c'est la direction du Longmynd. Dans la diorite et près de son contact avec le gneiss, on trouve des filons qui sont orientés comme le massif dioritique et qui ont leur pendage dirigé vers le gneiss. Le remplissage de ces filons se compose à peu près en parties égales de pyrite magnétique nickelifère et d'amphibole

remaniée qui se présente sous forme de globules à demi fondus. Toute la contrée est sillonnée de vallées profondes au fond desquelles on retrouve les filons, mais malheureusement ce n'est que sur le sommet des montagnes qu'ils sont riches en nickel et en cobalt. La mine de la Cevia est située à 1.980 mètres d'altitude et la mine de Sella Bassa entre 1.500 et 1.700. On s'occupe d'établir des câbles aériens pour rendre plus économique la descente du minerai. Voici la composition moyenne du minerai :

	CEVIA.	SELLA BASSA.
Amphibole. . .	50,00	50,00
S.	28,00	28,00
Ni.	1,20	1,44
Cu.	0,50	0,72
Co.	1,00	0,56
Fe.	20,00	20,00
	100,70	100,52

Comme on le voit, le minerai de la Cevia est plus riche en cobalt, mais plus pauvre en nickel. Exceptionnellement on rencontre des minerais tenant 4 à 5 p. 100 en nickel et cobalt. L'abatage se fait à la poudre, et l'on dépense 20 journées de travail pour faire 1 mètre courant de galerie. Sur le carreau de la mine, ces minerais reviennent environ à 20 ou 25 francs par tonne. Le transport de la Cevia à l'usine de la Sesia coûte 26',50. Le transport de Sella Bassa à l'usine de Scopello coûte 12 francs en été et 20 francs en hiver. Quand on aura achevé la pose du câble, le prix de ce transport sera abaissé à 7 francs, y compris les frais généraux. Le prix de revient du minerai rendu à l'usine peut donc être évalué approximativement à 50 fr. pour celle de Scopello.

Le minerai de Sägmyra (Suède) est encore plus pauvre que celui de Varallo. Il se trouve en filons puissants au milieu du granite. On exploite deux filons qui donnent des minerais dont la composition est la suivante :

	1 ^{er} FILON.	2 ^e FILON.
Gangue silicatée.	45,00	80,00
S.	31,00	11,00
Ni.	0,50	0,80
Cu.	0,60	1,00
Co.	traces	traces
Fe.	23,00	7,00
	100,10	99,80

Le minerai le plus riche en nickel est en même temps le plus pauvre en fer et en soufre. Ces filons sont situés à une faible altitude, ce qui les rend exploitables en dépit de leur pauvreté.

§ 2. — Minerai arsenical.

On peut citer, comme exemples de cette seconde classe de minerais, les minerais de Schladming, de Leogang et de Dobsina.

A *Schladming*, sur la crête qui sépare la Styrie du pays de Salzbourg, à 2.800 mètres d'altitude environ, au milieu des schistes talqueux et amphiboliques qui constituent la masse de la montagne, on distingue des couches imprégnées de pyrite et de mispickel. Ces matières, en s'oxydant à l'air, donnent à ces couches une couleur rouge qui tranche sur la couleur grise du reste de la montagne et qui a fait donner à ces couches le nom de *Branden*. La *Brande* de Neualp a une puissance de 16 mètres, et celle de Vöttern une puissance de 5 mètres. Elles sont dirigées N. 85° E.; on peut rapporter leur soulèvement au système du Finistère. La masse de la montagne est en outre traversée par des filons nombreux presque verticaux, dont la direction varie entre N. 40° E. et N. 70° E. Ces filons sont principalement remplis de spath calcaire et de cuivre gris argentifère. Leur puissance est seulement de quelques centimètres. Les parties des filons qui sont à l'intérieur des *Branden* épousent partiellement la direction de celles-ci. Dans ces

parties, le remplissage se compose essentiellement de calcaire et de carbonate de fer près des épontes, de nickel arsenical blanc, de kupfernichel et de mispickel dans les parties centrales. On y trouve aussi du cuivre gris, de la pyrite de fer et de la pyrite magnétique. Le nickel gris y est une rareté. On trouve des échantillons de nickel rouge qui tiennent 50 p. 100 de nickel et 2 p. 100 de cobalt, et des échantillons de nickel blanc qui tiennent 15 p. 100 de nickel et 5 p. 100 de cobalt, mais la composition moyenne du minerai est la suivante :

Ni.	11,0	} 22
Co.	1,0	
Cu.	0,2	
Fe.	10,0	} 41
As.	58,0	
S.	5,0	
Co ² FeO.		} 57
Co ² CaO.		
SiO ²		
Silicates.		
		100

Pour faire 1 mètre courant de galerie on dépense, suivant la dureté de la roche, 25 à 50 journées de travail et 5 à 18 kilogrammes de poudre. Le mètre courant de galerie revient de 75 à 200 francs. Il fournit en moyenne seulement 200 kilog. de minerai. Le transport du minerai de la mine à l'usine de *Hopfriesen* coûte environ 40 francs. En somme, le minerai rendu à l'usine coûte 750 francs la tonne. Ce chiffre est la moyenne des quatre dernières années de l'exploitation de 1864 à 1867.

A *Dobsina*, les filons exploités sont situés dans des gabbros qui reposent sur des talcschistes. Ces gabbros sont eux-mêmes recouverts par une puissante couche de carbonate de fer et par des grauwackes et des calcaires triasiques. Les filons ne se prolongent pas dans le carbonate de fer, mais celui-ci contient des traces de nickel et de

cobalt. Les filons présentent les deux directions N. 70° E. (Westmoreland) et N. 4° O. (Forez).

Il y a eu trois périodes de remplissages :

1° Carbonate de fer et cuivre gris ; ces matières sont montées en haut des filons à l'époque où se déposait le carbonate de fer.

2° Quartz et arsénifères et arsénio-sulfures de nickel et de cobalt. Ces matières sont contemporaines du dépôt de la grauwacke.

3° Calcaire et minerai de nickel. Ces matières sont contemporaines du dépôt calcaire.

Les filons ont subi des rejets par des failles orientées N. 42° O. (Thüringerwald).

On trouve quelquefois des échantillons de minerais tenant 17 p. 100 de nickel et 10 p. 100 de cobalt ou 22 p. 100 de nickel et 4 p. 100 de cobalt. On fait 4 classes de minerais :

1° Un minerai riche à 17 p. 100 de nickel et cobalt. Ce minerai se vend à raison de 2.500 francs la tonne environ.

2° Un minerai riche à 4 ou 5 p. 100 de nickel et cobalt. Ce minerai est traité dans les usines du voisinage, usine de Georges à Gniletz, usine du Phénix, etc.

3° Un minerai riche à 1 p. 100, qui est d'abord enrichi par une préparation mécanique sommaire.

4° Un minerai riche à 1/4 p. 100, qu'on laisse s'oxyder à l'air jusqu'à ce que la formation des fleurs de cobalt et de nickel y décèle la présence de ces métaux.

La gangue des minerais de Dobsina se compose surtout de hornblende, de schiste, de carbonate de chaux et de carbonate de fer.

Un mètre courant de galerie coûte de 32 à 75 francs, et donne 200 kilog. de minerai. Le transport du minerai à l'usine coûte environ 10 francs par tonne. Le prix de revient du minerai tenant en moyenne 6 p. 100 de nickel et 2 p. 100 de cobalt est d'environ 250 francs la tonne.

§ 3. — Hydrosilicate.

Le minerai de la Nouvelle-Calédonie provient principalement d'un filon de 1^m,25 de puissance situé au milieu de la serpentine. Voici la composition moyenne de ce minerai, à son arrivée en France, d'après une note présentée par MM. Christofle et Bouilhet à l'Académie des sciences :

SiO ³	38
NiO	18
MgO	15
Fe ² O ³	7
HO	22
	100

Le fer qu'on y trouve n'est pas combiné et paraît former des veines et des nodules isolés. Pour plus de renseignements, on peut se reporter au mémoire de M. Heurteau (*Annales des mines*, 1876).

CHAPITRE III.

CONCENTRATION DES MINÉRAIS SULFURÉS A L'ÉTAT DE MATTE.

§ 1. — Théorie de l'opération.

Les minerais de nickel sulfurés sont essentiellement formés de pyrite magnétique mélangée avec une gangue silicatée. Ils contiennent de faibles proportions de nickel, de cobalt et de cuivre. La gangue silicatée n'entrant que dans la proportion de 50 p. 100 environ, une préparation mécanique de ce minerai aurait peu d'avantages, d'autant mieux qu'il faudrait ultérieurement rajouter des fondants. On débute dans certains cas par une fonte crue, mais je crois qu'il vaut mieux commencer par un grillage, afin

de se débarrasser, dès la première fusion, d'une partie du fer. On opère par des grillages et des fusions successives absolument comme s'il n'y avait que du cuivre : le nickel et le cobalt suivent le cuivre dans les mattes de plus en plus concentrées, tandis que le fer est entraîné par les scories, ainsi qu'une partie du cobalt. Voici à cet égard trois lois fort simples :

1° Quand on fond du sulfure de nickel avec du silicate de fer acide, le nickel ne passe presque pas dans la scorie; si l'on fait la même expérience avec du sulfure de cobalt, le cobalt passe en grande partie dans la scorie.

2° Quand on fond de l'oxyde de nickel avec du soufre ou de la pyrite, le nickel passe intégralement dans la matte; si l'on fait la même expérience avec de l'oxyde de cobalt, le cobalt ne passe que partiellement dans la matte.

3° Quand on fond du silicate de nickel avec du soufre ou de la pyrite, le nickel passe partiellement dans la matte; si l'on fait la même expérience avec le silicate de cobalt, il ne passe pas du tout dans la matte.

Les premiers grillages se font en général en tas ou dans des stalles; les derniers grillages se font plutôt au réverbère. Les premières fusions se font dans des fours à cuve plus ou moins élevés et les dernières se font en général au réverbère. Les grillages doivent être d'autant moins complets qu'il y a plus de cobalt, pour éviter de le scorifier.

§ 2. — Exemple emprunté à l'usine de la Sesia, près Varallo.

Le minerai de la Cevia est reçu à l'usine de la Sesia et cassé par cinq ou six ouvriers.

1. *Grillage du minerai.* — Le minerai est grillé dans des stalles qui laissent perdre l'acide sulfureux. Il y a dans l'usine 8 stalles de 4 mètres de long, 3 mètres de large et 5 mètres de haut. On charge dans chaque stalle 2 tonnes de bois et 60 à 80 tonnes de minerai. Les stalles

sont recouvertes par une toiture en bois qui repose sur de petits piliers en pierre. On fait deux feux qui durent chacun 20 jours. Le grillage est surveillé par un seul ouvrier ; le chargement et le déchargement sont faits par deux hommes. Il y a en outre trois ou quatre ouvriers pour faire les transports d'une stalle à l'autre. Ces divers ouvriers ne travaillent que le jour et sont payés de 1^f,60 à 2 francs. On emploie un cheval et un chariot pour transporter les mattes grillées au four de fusion. Voici quel est approximativement le prix de revient du grillage pour une stalle et pour un feu :

20 journées de grilleur surveillant 8 stalles.	21,5
2 journées pour le chargement.	} 7,5
2 — pour le déchargement.	
3,5 — pour le transbordement.	
	10,0

10 journées à 1 ^f ,80.	18 francs.
2 tonnes de bois à 20 francs.	40 —
	58 —
Total, pour 70 tonnes.	58 —
Soit, pour 1 tonne et un feu.	0,85
Et pour 1 tonne et deux feux.	1,65

Ce grillage transforme une partie du sulfure de fer en oxyde qui sera facile à scorifier dans l'opération suivante. Il a en outre l'avantage de détruire la cristallisation de l'amphibole et de faciliter ainsi le cassage que subit le minerai avant d'aller à la fusion.

II. *Première fusion.* — Le minerai grillé est fondu dans un four à manche à lunettes. La section du four est rectangulaire : la largeur est de 50 centimètres et la distance de la tuyère à la face d'avant est de 0^m,60. La hauteur depuis la tuyère jusqu'au gueulard est de 1^m,45. Le creuset est un peu rétréci par le bas. Le four est muni de deux bassins extérieurs en brasque, où l'on fait couler la matte et la scorie. Il se fait dans ces bassins un repos de masse et

une séparation par différence de densité. La scorie s'écoule par la partie supérieure et la matte par un trou de coulée situé à la partie inférieure. La poitrine du fourneau est fermée par deux plaques de fonte creuses, où l'on fait circuler de l'eau dans le double but de rafraîchir la poitrine et d'échauffer l'eau. Voici à peu près la composition du lit de fusion :

Minerai grillé.	100
Calcaire.	28
Argile.	25
Scories de la deuxième fusion.	37
	190

Tous les quarts d'heure on charge un panier de coke de 15 kilog. et 6 paniers de lit de fusion de 18 kilog. chacun. On passe donc par jour :

	tonnes.
Minerai grillé.	5.400
Calcaire.	1.500
Argile.	1.550
Scories de deuxième fusion.	2.000
Coke.	1.450

La faible consommation de combustible s'explique par la bonne qualité du coke. Il provient de l'usine à gaz de Gènes, qui le fabrique avec des charbons anglais. Il coûte 75 francs la tonne, rendu à l'usine. Quant au calcaire, on le trouve dans le voisinage de l'usine, et il revient tout cassé à 3^f,50 la tonne.

On obtient, pour 100 parties de minerai, 52 de matte et 150 de scorie. La matte est bleue et tient 7 p. 100 de nickel et cobalt. La scorie ne tient que des traces insensibles de nickel et de cobalt. On transporte les scories dans un petit chariot en tôle trainé par un homme jusqu'à un emplacement où on les accumule. Quand on en sera gêné, on n'aura qu'à les jeter dans la Sesia, qui les emmènera.

L'usine comprend deux fours analogues qui travaillent alternativement.

Il y a 9 ouvriers attachés au four, savoir :

1° Deux ouvriers chargés de préparer les lits de fusion : ils sont payés chacun 2^f,75 et ne travaillant que le jour ;

2° Deux chargeurs payés 2^f,25 et se remplaçant toutes les 12 heures ;

3° Deux fondeurs payés 3 francs et 3^f,50 et se remplaçant toutes les 12 heures ;

4° Trois tireurs de crasses payés 2^f,50 et se remplaçant toutes les 8 heures.

Cela fait en tout, par 24 heures, 24 francs de main-d'œuvre. Le prix de revient de l'opération s'établit donc ainsi par tonne de minerai :

Calcaire.	0 ^f ,28 à 3 ^f ,50.	0 ^f ,98
Coke.	0,27 à 75,00.	20,25
Main-d'œuvre 24 ^f ,00 pour 5 ^f ,4, soit par tonne		4,44
		25,67

Soufflerie. — L'œil de la tuyère a 5 centimètres de diamètre et la pression du vent est de 44 millimètres de mercure. Il en résulte qu'on lance 10 mètres cubes d'air par minute. Pendant le même intervalle de temps, on brûle à peu près exactement 1 kilog. de coke. La combustion se fait très-bien : on ne voit pas au gueulard de flamme bleue et, bien que le four soit très-bas, on peut, sans en être gêné, avoir au gueulard les pieds sur la maçonnerie du four. Le travail théorique consommé par seconde par la soufflerie est de 100 kilogrammètres seulement. La machine soufflante est en connexion directe avec la machine motrice.

La machine motrice est une machine horizontale à détente Meyer. Elle est de la force de 25 chevaux, mais effectivement on ne lui fait donner que 11 chevaux. Elle marche à 3 atmosphères et fait 23 tours par minute. Cette même machine fait marcher, outre la soufflerie :

1° Un marteau à queue employé à briser du quartz et du calcaire ;

2° Une meule où l'on fabrique de la brasque avec du poussier de charbon de bois et de la terre grasse ;

3° Une pompe qui élève de l'eau froide dans un réservoir situé à la partie supérieure de l'usine et duquel l'eau descend sur la tympe du fourneau ;

4° Une pompe alimentaire qui peut prendre à volonté de l'eau froide et de l'eau qui s'est échauffée devant la tympe du fourneau.

Les générateurs sont des chaudières tubulaires de 1^m,30 de diamètre. La grille est formée de plaques de fonte, munies de fentes ; sur cette grille on brûle du bois. Il y a pour desservir les chaudières et la machine deux ouvriers payés respectivement 3 francs par jour et 100 francs par mois. Ils se remplacent alternativement.

La machine coûte donc par 24 heures :

Bois : 2 tonnes à 20 francs.	40 francs.
Main-d'œuvre.	7 —
	47 francs.

Si l'on passe par jour 5^f,4 de minerai, cela fait une dépense par tonne de 8^f,70. En ajoutant ces 8^f,70 aux 25^f,67 trouvés précédemment, on obtient pour le prix de revient de la première fusion 34^f,37.

III. *Grillage de la matte première.* — On emploie pour ce grillage 5 stalles un peu plus petites que celles qui servent au grillage des minerais. Le grillage de la matte se fait au moyen de 4 feux qui durent chacun de 5 à 8 jours.

Au dernier grillage on intercale un peu de coke, surtout quand les premiers grillages ont été mal faits. On prétend dans l'usine qu'il est bon que la matte soit en morceaux de la grosseur d'un œuf. Il me semble qu'il vaudrait mieux faire le premier grillage avec de gros morceaux et

casser les morceaux après chaque feu. On charge 1 tonne de bois et 20 tonnes de matte.

Voici ce que coûte un feu :

6 journées de grilleur surveillant 5 stalles. . .	1 ^h ,20
Main-d'œuvre accessoire.	5,00

6^h,20

6 ^h ,20 à 1 ^h ,80.	11 ^h ,16
1 tonne de bois à 20 francs.	20,00

Total pour 20 tonnes. 51^h,16

c'est-à-dire pour 1 tonne et un feu.	1,56
et pour 1 tonne et quatre feux.	6,24

En ajoutant quelques centimes pour le coke du quatrième feu, cela fait 6^h,50.

IV. *Fusion pour matte seconde.* — Cette opération se fait dans le même four que la fusion pour matte première, mais on passe par jour 8^h,5 de matte au lieu de 5^h,4 de minerai. Le lit de fusion comprend :

Matte grillée.	100
Quartz.	42
	<hr/> 142

On obtient :

Matte riche.	22
Scorie.	120
	<hr/> 142

La scorie est basique, malgré le quartz que l'on a introduit. Elle est cependant plus fluide que celle de la première fusion. Elle contient, à ce qu'il paraît, seulement 0,20 p. 100 de nickel et cobalt. On la repasse tout entière à la première fusion. Dans la matte chargée il y a 7 parties de nickel et cobalt. Il en part 0,24 dans la scorie, et il en reste 6,76 dans la matte. Celle-ci doit donc avoir une teneur de 30 à 31 p. 100 en nickel et cobalt. Effective-

ment, voici les limites entre lesquelles varie la composition de cette matte :

Ni,Co.	28 à 32
Fe,Cu.	52 à 48
S.	20
	<hr/> 100

On consomme par jour 1^h,5 de coke, à peu près comme dans l'opération de première fusion. Mais comme on passe 8^h,5 de matte grillée, cela ne fait que 0^h,175 par tonne de matte grillée. Le quartz coûte 2 francs d'extraction et 2^h,50 de cassage. Ce cassage est fait dans l'usine même, à l'entreprise, par un ouvrier et son fils, au moyen du petit marteau à queue dont j'ai parlé plus haut. La main-d'œuvre auprès du fourneau est la même que pour la première fusion. Le prix de revient par tonne de matte grillée s'établit donc ainsi :

Coke 0 ^h ,175 à 75 francs.	13 ^h ,14
Quartz 0 ^h ,42 à 4,50.	1,89
Main-d'œuvre 24 francs pour 8 ^h ,5, soit.	2,82
Machine à vapeur 47 francs pour 8 ^h ,5, soit.	5,41
	<hr/> 23 ^h ,26

Résultats. — La matte seconde est coulée dans des lingotières en fonte et expédiée à Oberschlemma près Schneeberg en Saxe. Le transport coûte 15 francs de Varallo à Novara et 65 francs de Novara à Oberschlemma. Cette matte a une teneur de 30 p. 100 en nickel et cobalt. Comme le minerai à une teneur de 2,2 p. 100 et qu'on ne perd pour ainsi dire pas de métal, on peut dire qu'une tonne de minerai donne 72 à 75 kilog. de matte. Si l'on traite par an 800 tonnes de minerai, on peut expédier 58 tonnes de matte. En admettant que la proportion entre le nickel et le cobalt reste la même, la matte expédiée aurait une teneur de 17 p. 100 en nickel et 13 p. 100 en cobalt. Il est probable que la matte doit être relativement un peu plus riche en nickel parce que les pertes portent surtout sur le cobalt.

§ 3. — Exemple emprunté à l'usine de Scopello.

L'usine de Scopello traite par jour 10 tonnes de minerai de Sella Bassa. Les gros blocs subissent d'abord un petit grillage de 6 heures qui a uniquement pour but de les rendre plus faciles à casser. Les gros blocs ainsi préparés et le tout-venant, tel qu'il arrive de la mine, sont broyés dans un concasseur américain. Ce broyeur étant capable de casser 5 tonnes dans une heure n'a à travailler que 2 ou 3 heures par jour. Il donne 210 coups par minute. Il est mû par la même turbine que la soufflerie. Cette turbine est de la force de 20 chevaux; elle fait 300 tours par minute. Le système de vannage est celui de MM. Fontaine et Brault. La turbine a 9^m,50 de chute et débite 568 mètres cubes par heure. Le coke vient de Saint-Étienne et coûte 83 fr. la tonne. Le charbon de bois coûte 78 francs la tonne. On les emploie actuellement en égale quantité, mais dès que les marchés passés avec les charbonniers du voisinage seront périmés, on renoncera à l'emploi du charbon de bois.

Première fusion. — Le minerai est fondu sans grillage préalable. On lui ajoute toutes les scories de la seconde fusion, de façon à récupérer autant que possible le métal qu'elles ont entraîné. On lui ajoute des terres grasses riches en silicate de magnésie et des micaschistes quartzeux et pyritifères qui tombent en poussière à la première impression de chaleur. Cette fusion se pratique dans 2 fours de Mansfeld hauts de 2^m,50. La garniture intérieure de ces fours est formée de micaschistes très-quartzeux. Le vent est donné dans chaque four par deux tuyères à la pression de 35 millimètres.

On passe par four et par 24 heures 5 tonnes de minerai. La matte est riche à 4 pour 100 en nickel et cobalt. Comme le minerai est riche en moyenne à 1,8 p. 100, il en résulte qu'on obtient comme matte première 45 p. 100 du minerai passé. On m'a dit qu'on obtenait comme scorie 60 p. 100

du minerai passé : ce chiffre doit être un minimum. Cette scorie est coulée dans un bassin et solidifiée par disques successifs. Ces disques sont cassés et triés : on conserve les morceaux qui renferment les grenailles de matte. On m'a dit que les campagnes duraient 60 jours : ce chiffre doit être un maximum.

Grillage de la matte. — La matte première est grillée dans des stalles Wellner. On lui fait subir 2, 3 ou 4 feux de 15 jours chacun. Elle prend un aspect noir, un peu fritté. Il y a des stalles où l'on charge 25 tonnes de matte, et d'autres où l'on en charge seulement 15 tonnes. On met toujours un lit de bois de 0^m,50 d'épaisseur. L'acide sulfureux est perdu. On le laisse s'échapper par une cheminée de 25 mètres de haut. La végétation dans le voisinage ne paraît pas en souffrir le moindre dommage. On a le projet d'absorber l'acide sulfureux par de l'eau.

Fusion de la matte première. — La matte première grillée est fondue pour matte seconde avec les scories riches de la première opération, avec des micaschistes quartzeux, et avec des terres grasses riches en silicate de magnésie. Le four n'a que 1^m,70 de hauteur.

La section est trapézoïdale. La distance entre la face d'arrière et la face antérieure est constante et égale à 0^m,88. La largeur du four mesurée sur la face antérieure est de 0^m,50 au gueulard, 0^m,60 au ventre et 0^m,47 au creuset. Elle est de 0^m,05 moins grande sur la face postérieure. Il n'y a qu'une seule tuyère de 3^{cm},5 de diamètre.

La matte seconde est un protosulfure. On s'attache à ce qu'elle contienne rigoureusement pour 16 de soufre 29 de métal, c'est-à-dire qu'elle contienne 35 p. 100 de soufre. Pour arriver à avoir une aussi forte teneur en soufre, je présume qu'on doit charger à cette opération une certaine quantité de minerai cru ou de matte crue. Quant à la teneur de la matte seconde en nickel et en cobalt, on m'a dit qu'elle oscillait entre 52 et 42 p. 100, mais je ne

crois pas qu'elle dépasse 30 p. 100. En admettant que le nickel, le cuivre et le cobalt sont restés dans la même proportion que dans le minerai, la composition de la matte est la suivante :

Ni.	24
Cu.	12
Co.	6
Fe.	23
S.	35
	100

Chacun des fours de première fusion passant par jour 5 tonnes de minerai, ces deux fours donnent par jour 4^t,5 de matte. Ils travaillent 200 jours par an pour passer les 2.000 tonnes de minerai, et font en tout 900 tonnes de matte première. Le four de seconde fusion ne passant par jour que 3^t,5 de matte grillée doit travailler 260 jours par an. La garniture intérieure du four de seconde fusion est faite avec des briques de Saint-Christophe, en Savoie. La durée des campagnes est, paraît-il, de 80 jours.

Soufflerie. — La soufflerie est commune aux trois fours. Le cylindre soufflant a 0^m,80 de diamètre et autant de longueur. Il est mû par la turbine. La cheminée par où s'échappent les gaz brûlés est trop haute. Il en résulte un trop grand tirage et des pertes par les fumées; on compte la raccourcir. Pour faire la brasque, on a un petit moulin à café et une paire de meules verticales; ces appareils sont mus par la turbine.

Résultat. — On transforme par an, dans l'usine de Scoppello, 2.000 tonnes de minerai d'une teneur de 1,8 p. 100 en 120 tonnes de matte d'une teneur de 50 p. 100.

§ 4. — Exemple emprunté à l'usine de Sâgmyra.

Le minerai de Sâgmyra est plus pauvre que celui d'Italie. On lui fait subir trois fusions, précédées chacune par

un grillage, et l'on obtient ainsi une matte très-riche. Le minerai de Sâgmyra ne contient pas de cobalt, mais en revanche, comme nous le verrons plus loin, le cuivre qu'il contient est utilisé, tandis que le cuivre que contient le minerai d'Italie est perdu. On traite par an, à Sâgmyra, 6.000 tonnes de minerai d'une teneur moyenne de 0,6 p. 100 en nickel en 0,7 p. 100 en cuivre.

I. *Grillage du minerai.* — Les minerais sont grillés en tas pyramidaux. Les tas sont de 300 à 400 tonnes et leur grillage dure 3 à 4 semaines.

II. *Fusion pour matte première.* — Le minerai grillé est fondu dans un four à cuve. La section du four est trapézoïdale, et la distance entre la face d'arrière et la face antérieure est de 0^m,96. La hauteur du four est de 3^m,80, depuis les tuyères jusqu'au gueulard, plus 0^m,35 au-dessous des tuyères. La partie supérieure du four est libre, mais il y a une prise de gaz latérale. Ces gaz servent à chauffer un réverbère. La garniture intérieure du four est faite en grante, et la garniture extérieure est faite au moyen de briques que l'on fabrique dans l'usine même avec les scories de la première fusion. Le four est muni de trois tuyères sur la face d'arrière et d'une tuyère sur chacune des faces latérales. On coule par l'avant du four la matte et la scorie. Ce four a une certaine analogie avec le four Raschette : il paraît, cependant, qu'il donne lieu à une moindre consommation de charbon et à une moindre formation de lousps ferrugineux qu'un four Raschette qui aurait les mêmes dimensions.

On fond par jour 10 à 12 tonnes de minerai. Quand on le peut, on brûle un mélange de coke et de charbon de bois. Quand on n'a que du charbon de bois, on en consomme 210 hectolitres par jour. Quand on passe à cette fusion du minerai du 1^{er} filon, on lui ajoute 20 p. 100 de quartz et la matte obtenue contient 2 à 4 p. 100 de nickel et autant de cuivre. Quand on passe du minerai du

2° filon, on le fond tout seul et la matte obtenue contient 4 à 7 p. 100 de nickel et 5 à 8 p. 100 de cuivre. En moyenne, on peut dire que la matte première de Sâgmyra a une teneur de 4 p. 100 en nickel et 4 1/2 p. 100 en cuivre. On en fait 900 tonnes par an.

III. *Grillage de la matte première.* — La matte première est grillée à 4 ou 5 feux. Ce grillage se fait en tas entre des petits murs qui figurent en quelque sorte des stalles ouvertes. On charge dans chaque stalle 25 tonnes de matte.

IV. *Fusion pour matte seconde.* — La matte première grillée est fondue dans un four à cuve qui n'a que 3 mètres de haut. Ce four a la poitrine fermée. On coule les scories par un trou de coulée placé à l'avant et la matte par un trou de coulée placé à l'arrière; la matte est coulée dans l'eau pour qu'elle se granule. Elle a la composition suivante :

Ni.	25 à 26
Cu.	25 à 30
Fe.	26
S.	25 à 30
	100

Le lit de fusion comprend :

Matte première grillée.	100
Quartz.	15
	115

Jusqu'ici ces matières étaient chargées simplement à l'état de morceaux. On a fait récemment l'essai suivant qui a très-bien réussi : on granule la matte à la première fusion au lieu de la couler en pains; on pulvérise le quartz en gros sable; on étend sur le sol de l'usine les grains de matte, préalablement grillés, et le quartz en gros sable; on arrose avec un lait de chaux ou un lait d'argile, et l'on fait ainsi une pâte qu'on découpe en cubes de 0^m,10 de côté; on fait sécher ces cubes à l'air si l'on est en été, artificiellement si l'on est en hiver. Ce procédé donne, grâce au

contact plus intime de la matte et du quartz, un meilleur travail, une moindre proportion de lousps et une moindre consommation de combustible.

V. *Grillage de la matte seconde.* — La matte seconde granulée est grillée dans un four à réverbère continu. Ce four a 5 portes de travail : 2 sur un côté et 3 sur l'autre. On y brûle les gaz du four à cuve de première fusion. La matte reste dans le four 24 heures au plus. On la charge à l'extrémité de la sole et on la décharge près de la chauffe.

VI. *Fusion pour matte troisième.* — La matte seconde grillée est fondue au réverbère. On y ajoute autant de quartz qu'il y a de fer dans la matte, soit environ 20 p. 100. On ajoute aussi du verre blanc en proportion égale à la moitié de celle du quartz. La matte troisième a la composition suivante :

Ni.	35
Cu.	40
Fe.	0,2 à 0,4
S.	22

Résultats. — On fabrique annuellement 100 tonnes de matte troisième à Sâgmyra. Jusqu'ici cette matte était expédiée à l'usine de Victoria, à Namburg; mais dorénavant cette matte sera traitée à Sâgmyra, comme je le dirai plus bas.

Variante. — On a fait dans ces derniers temps, à Sâgmyra, l'essai suivant qui a fort bien réussi. Une partie de la matte première est granulée et, au lieu de l'envoyer au grillage, on la traite dans une cuve en bois, à la température ordinaire, par de l'acide sulfurique très-faible fabriqué lui-même dans l'usine. Une grande partie du fer se dissout en entraînant des traces de nickel. On fait cristalliser la dissolution pour sulfate de fer, et le résidu est regardé comme matte seconde, séché, grillé, etc. Ce procédé s'appliquerait à la totalité des matières pour remplacer les opérations III-IV, si l'on avait le placement d'une grande quantité de sulfate de fer.

CHAPITRE IV.

CONCENTRATION DES MINÉRAIS ARSENIQX A L'ÉTAT DE SPEISS.

§ 1. — Théorie de l'opération.

Les minerais arsenicaux sont traités, comme les minerais sulfurés, par une série de grillages et de fusions. Le nickel et le cobalt ont une grande affinité pour l'arsenic : il en résulte que ces métaux ont une faible tendance à passer dans les scories. En outre, le speiss étant très-lourd se sépare bien de la scorie. Le traitement débute en général par un grillage en stalles. On peut résumer de la manière suivante la théorie de ce grillage.

1° A la partie inférieure de la stalle, grâce à la température et à l'excès d'oxygène, l'arsenic passe à l'état d'acide arsénieux, le fer et le nickel s'oxydent. Ces combustions s'opèrent à la surface des morceaux de minerai. L'oxyde de nickel formé réagit sur le minerai intact de l'intérieur, et il se fait par double décomposition de l'arséniure de nickel qui gagne l'intérieur et de l'oxyde de fer qui gagne l'extérieur. Dans tout ceci le cobalt et le cuivre accompagnent le nickel.

2° L'acide arsénieux qui distille, ainsi que la petite proportion d'acide sulfureux qui se forme dans le grillage, se peroxydent au contact de l'oxyde de fer poreux. L'acide arsénique se combine à l'oxyde de fer.

3° Les carbonates de fer et de chaux, qui font souvent partie de la gangue des minerais, sont transformés par la chaleur et par les acides arsénique et sulfurique en arséniate et en sulfate de chaux et en sous-arséniate de peroxyde de fer.

4° A la partie supérieure du tas, là où il n'y a plus

d'excès d'oxygène, le minerai perd son excès d'arsenic, et celui-ci distille le plus souvent à l'état de sulfure d'arsenic.

Quand l'opération est terminée, on recueille à la surface du tas de l'acide arsénieux et du sulfure d'arsenic. Les morceaux grillés présentent un noyau d'arséniure riche en nickel, cobalt et cuivre, et une croûte principalement formée de sulfate et d'arséniate de fer et de chaux. Les gangues silicatées n'ont subi aucune réaction chimique, mais le grillage les a rendues plus friables.

Le minerai grillé est ensuite fondu dans un four à cuve. Cette opération est une fusion réductrice analogue à celle que subissent les minerais de cuivre grillés dans la méthode continentale.

A la partie supérieure du four, les arséniates et les sulfates sont réduits par l'oxyde de carbone et dégagent de l'acide arsénieux et de l'acide sulfureux. En bas, ces mêmes matières sont réduites par le charbon.

Toutes les matières arrivent réduites dans le creuset. Là, le vent de la tuyère tend à les oxyder, mais il se fait une réaction entre les oxydes de nickel, de cuivre et de cobalt d'une part, et d'autre part les sulfures et les arséniures de fer, réaction qui donne naissance à des sulfures et à des arséniures de nickel, de cobalt et de cuivre, et à de l'oxyde de fer qui passe dans la scorie. Le repos dans le creuset rend aussi la scorie plus riche en fer et le speiss plus riche en nickel, cobalt et cuivre. Les scories doivent être fluides et présenter plutôt la composition d'un singulosilicate que celle d'un bisilicate, afin d'entraîner peu de cobalt et de nickel.

Il faut, autant que possible, éloigner le soufre du lit de fusion, sauf quand il est nécessaire pour entraîner le cuivre.

A l'égard des réactions auxquelles les minerais arsenicaux de nickel et de cobalt sont soumis dans les fours à cuve, on peut énoncer les trois lois suivantes analogues à

celles que nous avons énoncées plus haut au sujet des minerais sulfurés :

1° Quand on fond de l'arséniure de nickel avec une scorie fluide tenant 33 p. 100 de protoxyde de fer, le nickel ne passe presque pas dans la scorie ; si l'on fait la même expérience avec de l'arséniure de cobalt, le cobalt résiste également fort bien.

2° Quand on fond de l'oxyde de nickel avec de l'arsenic ou du mispickel, le nickel passe à peu près intégralement dans le speiss ; si l'on fait la même expérience avec de l'oxyde de cobalt, le cobalt ne passe que partiellement dans le speiss.

3° Quand on fond du silicate de nickel avec de l'arsenic ou du mispickel, le nickel passe partiellement dans le speiss ; si l'on fait la même expérience avec du silicate de cobalt, la réaction est encore plus incomplète.

Il résulte de ce qui précède qu'il faut, autant que possible, éviter de silicatiser les oxydes de nickel et de cobalt, et par conséquent de fondre les minerais avant de les réduire.

Le speiss premier est enrichi au moyen de grillages et de fusions. L'état stable pour les arséniures correspond à la formule M^*As ; l'arséniure de nickel Ni^*As est pour le nickel ce que le sulfure de cuivre Cu^*S est pour le cuivre. Les différents métaux qui entrent dans la composition des speiss ayant des équivalents chimiques à peu près égaux, la formule M^*As correspond à peu près dans tous les cas à une teneur de 58 p. 100 d'arsenic.

Quand on grille en petit un arséniure de la formule M^*As , on obtient, d'après Plattner, un arséniate qui a la formule $9MO.AsO^5$, et, par conséquent, une teneur de 25 p. 100 d'acide arsénique. Dans l'industrie, le grillage n'est jamais aussi complet.

Quand on fond un speiss grillé, l'arséniure de fer réagit sur les oxydes et les arsénates des autres métaux, et il se forme de l'oxyde de fer que l'on entraîne au moyen de four-

dants appropriés : quartz, potasse, carbonate de soude, verre blanc. Le speiss garde la formule M^*As , mais la nature des métaux désignés par M change. Le nickel reste à l'état d'arséniure et le cobalt se partage en général entre le speiss et la scorie.

Les dernières fusions se font presque toujours dans des fours à réverbère et très-souvent dans des fours à réverbère soufflés que l'on connaît sous le nom de *fours hongrois*.

Le nombre des opérations successives auxquelles les matières sont soumises dépend de la richesse plus ou moins grande des minerais et du degré de richesse auquel on veut obtenir le speiss. Il est difficile de dépasser la teneur de 62 p. 100 en nickel et cobalt. Comme il faut pour l'atteindre scorifier tout le fer, on ne peut pas éviter de scorifier en même temps une partie du nickel et surtout du cobalt. Je crois donc qu'il vaut mieux arrêter un peu plus tôt la concentration.

§ 2. — Exemple emprunté à l'usine de Schladming en 1867.

L'usine de Schladming traitait par an 50 tonnes de minerais contenant 11 p. 100 de nickel et 1 p. 100 de cobalt.

I. *Grillage du minerai*. — Le minerai était grillé dans une stalle de 5 mètres de long, 4 mètres de large et 1^m,20 de haut. (V. fig. 6, Pl. VII.) La sole de cette stalle était construite en maçonnerie et munie de conduites pour la circulation de l'air.

On disposait, en outre, de deux tuyaux en bois, carrés, qu'on plaçait verticalement au-dessus des deux points A et B où se réunissaient les conduites réservées dans la sole ; ces tuyaux en bois formaient cheminée même après leur carbonisation. La charge comprenait 3 stères de bois, 1 hectolitre 1/2 de menu charbon de bois et 18 à 20 tonnes de minerai en morceaux de 2 ou 3 centimètres de diamètre. On recouvrait le tout de minerai menu, on fermait

l'avant de la stalle par un mur en pierres sèches et l'on descendait de la braise allumée par les tuyaux de bois.

Le grillage durait 5 à 8 jours. Pendant l'opération on faisait encore des trous dans la masse avec un ringard en fer. Pendant ce grillage le minerai perdait 10 à 12 p. 100 de son poids par suite du départ d'une partie de l'arsenic, du soufre et de l'acide carbonique et malgré la fixation d'oxygène. A la fin de l'opération on recueillait à la surface du tas de l'acide arsénieux et du sulfure d'arsenic, qui étaient des produits marchands.

II. *Fusion du minerai grillé.* — Le minerai grillé était fondu avec 22 p. 100 de quartz dans un four à cuve qui existe encore et que j'ai vu à Hopfriesen. (V. *fig.* 7 et 8, Pl. VII.) La section du four est un trapèze, la distance entre la face de la tuyère et la face antérieure est de 0^m,63, la largeur de la face de la tuyère est de 0^m,48 et la largeur de la face antérieure 0^m,55. La hauteur depuis la tuyère jusqu'au gueulard est de 1^m,70. Le four est muni d'un creuset intérieur profond de 0^m,25 et capable de contenir 140 kilogrammes de speiss. La poitrine du four est fermée. Les scories coulaient constamment par un trou de coulée situé à la partie supérieure du creuset intérieur. Tant que ces scories restaient fluides, on augmentait la dose de quartz dans le lit de fusion de façon à scorifier le plus possible de fer. Les scories étaient triées; celles qui contenaient des grenailles de speiss retournaient au fourneau; les autres étaient granulées, pilées et mélangées avec un lait de chaux, et formaient ainsi une espèce de brasque avec laquelle on confectionnait des bassins pour le speiss. Il y avait deux de ces bassins et à chacun d'eux correspondait un trou de coulée communiquant avec la partie inférieure du bassin intérieur. On laissait le speiss se refroidir dans le bassin et s'y solidifier par disques successifs de 4 à 5 centimètres d'épaisseur, que l'on soulevait avec une fourchette. Ce speiss of-

fait de belles couleurs irisées et un aspect cristallin analogue à celui de la neige. Les poussières entraînées par le courant gazeux se déposaient dans des chambres de condensation situées au-dessus du four.

La machine soufflante était mue par une roue hydraulique et lançait dans le four la quantité relativement énorme de 30 mètres cubes d'air par minute.

Le four était desservi par 3 postes de 2 ouvriers qui se remplaçaient toutes les 8 heures. Les campagnes pouvaient durer 20 jours.

Pour 100 de minerai cru on avait 89 de minerai grillé. On passait au fourneau :

Minerai grillé.	89,0
Quartz.	19,5
	<hr/>
	108,5

et l'on obtenait :

Speiss.	26
Scorie, environ.	80

Le speiss présentait la composition suivante :

Ni.	45 à 47
Co.	4 à 6
Fe.	8 à 10
Cu.	1 à 1,5
As.	33 à 36
S.	1 à 2
Charbon, scorie, etc.	1 à 2
	<hr/>
	100

On passait par jour 5 tonnes de minerai grillé, on consommait 900 kilogr. de charbon de bois, et l'on obtenait 1.400 kilogr. de speiss. On devait donc faire la coulée des speiss 10 à 12 fois par jour, c'est-à-dire à peu près toutes les deux heures. L'usine traitant par an 30 tonnes de minerai fabriquait 8 tonnes de speiss qu'elle expédiait à l'usine de Mandling.

§ 3. — Exemple emprunté à l'usine de Schladming en 1860.

En 1860, lors de la visite de M. Fuchs aux usines de Schladming, on y poussait plus loin qu'en 1867 l'enrichissement du speiss.

I. *Grillage du minerai.* — Le grillage du minerai se faisait dans les conditions que j'ai décrites plus haut.

II. *Fusion pour speiss premier.* — Le minerai grillé était fondu dans le même four que celui que j'ai décrit plus haut. Cependant à cette époque le four avait un avant-creuset au lieu d'avoir la poitrine fermée. Cette disposition favorisait moins les réactions utiles dont j'ai parlé. Les bassins extérieurs de coulée étaient faits avec un mélange d'argile, de brique pilée et de coke. On passait par jour seulement 3,5 de minerai. Le lit de fusion était le suivant, d'après M. Fuchs :

Minerai grillé.	100,0
Vieux nez, scories riches, poussières.	3,0
Quartz.	0,6
	<hr/>
	103,6

On obtenait pour 100 parties de minerai 17,8 de speiss. Ce speiss avait la composition suivante :

Ni, Co, Cu.	56
Fe.	6 à 7
As.	37
	<hr/>
	100

On l'expédiait à Mandling, où l'on continuait à le concentrer de la manière suivante.

III. *Grillage du speiss.* — Le speiss était d'abord grillé sur la sole d'un four à réverbère. La sole de ce four avait la forme d'une étoile à 8 pointes : à chacun des sommets se trouvait une porte de travail. La chauffe était rectangulaire et placée en dessous de la sole. Les gaz sortaient par

une petite cheminée qui débouchait au centre de la sole. L'orifice circulaire par où ils arrivaient était entouré d'un petit rampant. Les gaz sortaient du laboratoire par les portes de travail et étaient recueillis par des hottes et conduits dans une chambre de condensation placée au-dessus du laboratoire. La chauffe avait 2^m,50 sur 0^m,50 : on y brûlait du bois. La sole était inscrite dans un cercle de 1^m,40 de rayon. La hauteur de la voûte au-dessus de la sole était de 0^m,40.

Quand le four était froid, on mettait 5 ou 6 heures pour le chauffer, puis on chargeait 200 kilogrammes de speiss. L'opération durait 12 heures et consommait 4 stères de bois. Le produit grillé contenait 30 p. 100 d'acide arsénique.

IV. *Fusion pour speiss second.* — Le speiss grillé était fondu dans des creusets chauffés dans un four à vent. Le lit de fusion était le suivant :

Speiss grillé.	100
Potasse.	30
Acide arsénieux	12
Quartz.	12
	<hr/>
	154

L'acide arsénieux était acheté à Salzburg. Il est inutile d'insister sur le vice d'une méthode qui, pour traiter des minerais arsenicaux, oblige d'acheter de l'acide arsénieux. Les creusets étaient des creusets de graphite qui venaient de Passau et coûtaient 6^f,65 la pièce. A 3 heures du matin on chargeait dans le four 8 creusets contenant chacun 16 à 20 kilogrammes de speiss grillé. On chauffait progressivement : à 6 heures le four était chaud ; à midi l'opération était terminée et on laissait tomber le feu. Le lendemain, à 5 heures du matin, on défournait et l'on chargeait de nouveaux creusets ; à ce moment le four

était encore un peu chaud. On consommait par jour 55 hectolitres de charbon de bois.

Pour 100 parties de speiss grillé on obtenait 85 parties de speiss riche présentant la composition suivante :

Ni, Co, Cu.	67
Fe.	2
As.	31
	100

La scorie était formée d'un mélange d'arséniate et de silicate de fer et de cobalt. L'arséniate contenu dans la scorie était réduit par la matière du creuset, de sorte que celui-ci était rongé jusqu'à la moitié de son épaisseur. On était obligé de casser les creusets après chaque opération; on utilisait leurs débris en les mélangeant à des débris de briques réfractaires et à de l'argile de Pichler pour fabriquer d'excellentes briques réfractaires. Ces creusets de graphite formaient un élément important dans le prix de revient du nickel.

Résultats. — L'usine avait deux fours à vent semblables; chacun d'eux fondait par jour 140 kilog. de speiss grillé et produisait 120 kilog. de speiss riche. Le réverbère où se grillait le speiss premier pouvait griller par jour 2 charges de 200 kilog. chacune. Pour traiter 8 tonnes de speiss, le réverbère devait travailler 20 jours par an et les fours à vent 28 jours. On produisait par an 6 à 7 tonnes de speiss second.

§ 4. — Exemple emprunté à l'usine de Leogang.

Les minerais de Leogang ne tiennent que 2 ou 3 p. 100 de cobalt et de nickel, mais on peut pousser la préparation mécanique assez loin, parce que la gangue est presque exclusivement calcaire.

- I. *Grillage des minerais.* — Le grillage se fait en stalles.
- II. *Première fusion.* — Le minerai grillé est fondu avec

beaucoup de quartz dans un four à manche de 1^m,20 de haut et d'une section de 0^m,75 sur 0^m,75. La scorie contient 3 à 4 p. 100 de cobalt et est en grande partie perdue.

III. *Grillage du speiss.* — Le speiss est grillé à 3, 4 ou 5 feux.

IV. *Fusion pour speiss second.* — Le speiss grillé est fondu avec du quartz et des scories de la première fusion. Les scories de cette opération sont riches en cobalt, on les renvoie à la première fusion, mais on ne récupère ainsi que très-peu de cobalt.

V. *Rôtissage pour speiss troisième.* — Sur la sole en quartz d'un four hongrois on fond le speiss second avec du charbon, et l'on souffle tant que le bain se couvre de scorie. Au bout d'un certain temps on souffle un faible courant de vent froid pour solidifier la scorie, on écume la scorie, puis on jette sur le bain du sable et du charbon, et l'on recommence à souffler. On répète cette opération trois ou quatre fois, jusqu'à ce que tout le fer soit scorifié.

Le speiss obtenu ne perd pas de poids dans la flamme intérieure du chalumeau. Quant aux scories, elles sont cobaltifères, surtout les dernières. On les traite à part dans un four avec addition de quartz et d'arsenic.

§ 5. — Exemple emprunté à l'usine de Georges, près Dobsina, en 1876.

Les minerais traités dans cette usine tiennent en moyenne 6 p. 100 de nickel et cobalt. La proportion du nickel est triple de celle du cobalt.

I. *Grillage du minerai.* — Le minerai subit d'abord un grillage d'un seul feu qui dure 2 ou 3 jours. Ce grillage se fait dans des stalles voûtées qui ont 4 mètres sur 5 mètres et 3 mètres de hauteur. On y charge 6 à 7 stères de bois, 40 tonnes de minerai et des schlamms par lits intercalés. L'air arrive par des canaux pratiqués dans la sole de la stalle.

Les gaz brûlés passent dans un canal qui monte le long de la montagne, puis dans un petit tunnel, et sortent par une cheminée haute de 23 mètres. Cette cheminée est située au milieu d'une forêt; les fumées qu'elle répand ont fait mourir les arbres à 50 mètres à la ronde. Tous les ans on recueille dans la conduite de l'acide arsénieux qui est un produit marchand.

II. *Fusion pour speiss premier.* — Le minerai grillé est fondu dans un four à cuve. Ce four a une section circulaire de 1^m,20 de diamètre au niveau des tuyères et de 1 mètre au gueulard; sa hauteur est de 5 mètres. Deux tuyères de 0^m,07 de diamètre et munies d'un nez pendant le travail lancent ensemble par minute 45 mètres cubes d'air à la pression de 0^m,06 de mercure. Cette soufflerie consomme 8 chevaux de force.

Voici la composition du lit de fusion.

Minerai grillé.	100
Quartz.	3 à 4
Calcaire.	8 à 12
Scories riches.	5 à 10

120

Je ne me suis pas rendu compte de la raison qui faisait ajouter simultanément du quartz et du calcaire.

On passe par jour 7 à 10 tonnes de minerai et l'on consomme 0^t,20 de charbon de bois par tonne de minerai. Ce charbon pèse 14 kilog. l'hectolitre. Le four est desservi par 2 fondeurs, 1 porteur de charbon, et 2 ouvriers pour préparer le lit de fusion; ces ouvriers restent 12 heures au travail. Le four absorbe donc par 24 heures 10 journées de travail.

Les scories ont la composition d'un singulosilicate; elles coulent constamment. Le speiss a une teneur qui varie entre 16 et 26 p. 100 de nickel et cobalt. On le coule dans des creusets en brasque creusés dans le sol de l'usine.

La garniture intérieure du four est en talschiste; ses campagnes durent 30 à 35 jours.

III. *Grillage du speiss premier.* — Le speiss est grillé à 3, 4 ou 5 feux dans les mêmes stalles qui servent au grillage des minerais.

IV. *Fusion pour speiss second.* — Le speiss grillé est fondu dans le même four qui sert à la première fusion. On passe par jour 11 tonnes de speiss grillé. On lui ajoute 23 p. 100 de quartz et l'on consomme 0^t,265 par tonne de speiss. Le speiss second a une teneur de 30 à 32 p. 100 en nickel et cobalt.

Quand on dispose de minerais riches à 17 p. 100, on les grille et on les passe de suite à la fusion pour speiss second.

V. *Grillage du speiss second.* — Le speiss second subit un grillage en stalles de 3 ou 4 feux.

VI. *Rôtissage pour speiss troisième.* — Le speiss second grillé est fondu sur la sole d'un four hongrois. (V. fig. 20 et 21, Pl. VII.) La sole est elliptique et a 2^m,40 sur 1^m,90. Elle est composée: 1° d'une couche de scories; 2° d'une couche d'argile; 3° d'une couche de sable; 4° d'une couche de marne formant coupelle. La hauteur de la voûte au-dessus de la sole est de 0^m,80. Le four est muni de deux tuyères de 0^m,06 de diamètre qui soufflent ensemble 25 mètres cubes d'air à la pression de 28 millimètres. La chauffe a 0^m,80 sur 1^m,25 et est munie d'une double grille. La grille inférieure est formée de barreaux de fer et la grille supérieure est faite avec des briques de scories. On charge du bois sur la grille supérieure: celui-ci se transforme en charbon de bois, qui tombe sur la grille inférieure où il achève de se brûler. L'acide carbonique qui se produit sur la grille inférieure se transforme en oxyde de carbone en passant sur le bois incandescent. Le four est muni de chambres de condensation.

On charge 1.800 à 2.000 kilog. de speiss, et l'on chauffe

d'abord sans donner le vent. Au bout de 10 heures la masse est fondue et l'on donne le vent. En même temps on ajoute de temps en temps du verre, du quartz et du carbonate de soude. On fait sortir constamment les scories : elles sont noires, ferrugineuses, mais elles ne contiennent de nickel et de cobalt qu'à l'état de particules de speiss entraînées. Leur teneur en nickel et cobalt atteint 1 ou 2 p. 100. On les repasse dans la première fusion. Au bout de 12 ou 14 heures on s'arrête. À ce moment le speiss tient encore 8 à 10 p. 100 de fer. On ne pousse pas l'enrichissement plus loin pour ne pas perdre de cobalt par silicatisation. En résumé l'opération dure 24 heures, et pour 100 de speiss grillé on consomme :

Verre blanc.	2
Quartz.	4
Carbonate de soude.	1

Le four est desservi par 3 ouvriers qui restent 12 heures au travail, c'est-à-dire que l'opération exige 6 journées de main-d'œuvre.

Résumé. — Voici des analyses qui m'ont été communiquées et qui montrent la rapidité de la concentration :

	SPEISS 1 ^{er} .	SPEISS 2 ^e .	SPEISS 3 ^e .
Ni, Co.	20,7	31,9	50 à 52
Cu.	1,6	1,9	1 à 2
Fe.	44,5	26,4	8 à 10
As.	21,5	36,5	38 à 40
S.	10,2	3,1	1 à 2
	98,1	99,6	

L'usine traite par an 1.000 tonnes de minerai. Elle fabrique 200 tonnes de speiss second. La moitié de ce speiss est vendue en Angleterre et l'autre moitié est transformée en 60 tonnes de speiss troisième dont le traitement s'achève comme je le dirai plus bas.

§ 6. — Exemple emprunté à l'usine de Losonez.

L'usine de Losoncz traite trois sortes de matières :

1° 140 tonnes de minerai de Dobsina, tenant 14 à 20 p. 100 de nickel et cobalt et 1/2 p. 100 de cuivre.

2° 20 tonnes de speiss de Leogang, tenant 34 à 38 p. 100 de nickel et cobalt et 3 p. 100 de cuivre.

3° 110 tonnes de matte de Klefva, tenant 40 à 45 p. 100 de nickel et cobalt et 20 à 25 p. 100 de cuivre.

Ces différentes matières subissent au four à cuve une ou plusieurs fusions. Ces fusions sont précédées de grillages qui se font en général au réverbère. On ne grille en tas que les matières pauvres en nickel, en cobalt et en arsenic. On obtient ainsi un speiss dont la richesse varie entre 50 et 54 p. 100 en nickel et cobalt. Une partie de ce produit est expédiée à Barendorf, une autre subit un dernier grillage et une fusion dans un four à réverbère où elle est transformée en un produit dont la richesse varie de 61 à 64 p. 100. Les scories riches des diverses opérations sont refondues dans un cubilot à l'effet d'en retirer les grenailles de speiss.

Réverbères de grillage. — L'usine comprend 7 fours à réverbère, mais 5 seulement sont en activité. La sole de ces fours a 3 mètres sur 3 mètres. La charge est de 800 à 1.000 kilog. et l'opération dure 3 à 4 heures.

On consomme par 24 heures 1^{stère},7 de bois, soit, par tonne de matière grillée, 0st,27. Ce bois coûte 6^{fr},50 le stère. Le four est desservi par 2 hommes qui se relayent toutes les 12 heures. Comme en 24 heures on grille en moyenne 6^{fr},3 de matières, on dépense, par tonne de matière grillée :

0 st ,27 de bois à 6 ^{fr} ,50.	1 ^{fr} ,76
0 st ,32 de main-d'œuvre à 2 ^{fr} ,25.	0,72
	2,48

Fusions au four à cuve. — Il y a dans l'usine 2 fours à cuve qui travaillent généralement ensemble. La section des deux fours est la même, savoir : 0^m,68 sur 0^m,92 à la hauteur du ventre et 0^m,51 sur 0^m,92 à la hauteur de la tuyère. Les hauteurs des deux fours sont respectivement de 1^m,70 et 2^m,50. Chacun d'eux a une seule tuyère de 0^m,05 de diamètre. On charge dans ces fours, avec la *métalline* (matte ou speiss) grillée, un poids de quartz égal au poids d'oxyde de fer qu'elle contient. Quelquefois, mais seulement accidentellement, on ajoute aussi du calcaire. En 24 heures on fond dans chacun de ces fours 7 à 8 tonnes de lit de fusion et l'on consomme 0^{tonne},30 de charbon de bois par tonne de lit de fusion.

Le creuset est formé par un mélange d'argile et de brique pilée. Il y a deux creusets extérieurs où l'on coule alternativement la *métalline* riche.

Chaque four est desservi par 2 ouvriers qui se relayent toutes les 12 heures, et par un ouvrier qui prépare les lits de fusion. De la sorte, en 24 heures, chaque four absorbe 3 journées de main-d'œuvre. La fusion coûte donc par tonne de lit de fusion :

0 ^l ,30 charbon de bois à 50 francs.	15 fr.
0 ^l ,40 main-d'œuvre à 2 ^l ,50.	1 —
	16 fr.

ce qui correspond environ à 20 francs par tonne de *métalline* fondue.

Les campagnes des fours à cuve durent deux mois.

Fonte des scories au cubilot. — Les scories riches sont fondues dans un cubilot de 1 mètre de diamètre sur 3 mètres de hauteur. Ce cubilot est armé de 6 tuyères. On fond en 24 heures 11 tonnes de scories additionnées de 1 tonne de calcaire et l'on consomme 3^l,6 de charbon de bois. Le four est desservi par 2 postes de 3 ouvriers. Le prix

de la fusion d'une tonne de scorie s'établit donc ainsi :

0 ^l ,33 charbon à 50 francs.	16 ^l ,50
0 ^l ,55 main-d'œuvre à 2 ^l ,50.	1 ^l ,38
	17 ^l ,88

On recueille séparément la matte et la scorie par deux trous de coulée.

Fusion au réverbère. — L'usine comprend 4 réverbères pour la fusion des *métallines* riches à 52 p. 100; trois seulement travaillent. La sole de ces fours a 1^m,90 sur 2^m,20. On y charge 200 kilog. de speiss et 20 kilog. de quartz. L'opération dure 3 heures et consomme 250 kilog. de houille. Chacun de ces fours est desservi par 1 homme pendant douze heures. Comme on fond en 12 heures 800 kilog. de speiss, la fusion d'une tonne de speiss coûte :

1 ^l ,25 houille à 15 francs.	18 ^l ,75
1 ^l ,25 main-d'œuvre à 2 ^l ,50.	3,12
	21 ^l ,87

Machine à vapeur. — Il y a dans l'usine une petite machine à vapeur de 25 chevaux qui fait marcher la soufflerie pour les deux fours à cuve et pour le cubilot, un bocard à 4 pilons de bois et un bocard à 4 pilons de fer où l'on broie le quartz et le speiss, un moulin où l'on pulvérise ces matières. Les meules de ce moulin viennent de la Ferté-sous-Jouarre. Ce petit atelier est desservi par 2 postes de 5 hommes.

cuivre que l'on obtient est recouvert d'une mince couche d'un corps transparent et jaune d'or que l'on désigne sous le nom de mica de cuivre (*Kupferglimmer*). C'est un antimoniate double de nickel et de cuivre. Il est impossible de le séparer soit mécaniquement, soit par des fusions si répétées qu'elles soient, et ce corps rend le cuivre absolument impropre à tous les usages. En traitant ce cuivre impur par du chlorure de sodium, il se fait du chlorure d'antimoine qui est volatil; le sodium passe dans les crasses et l'on obtient un alliage de nickel et de cuivre propre à fabriquer de l'argentan.

§ 3. — Exemple emprunté à l'usine de Freyberg (Saxe).

On obtient quelquefois à Freyberg, au-dessus du plomb d'œuvre, un speiss argentifère.

I. *Désargentation du speiss*. — Ce speiss est d'abord soumis aux mêmes procédés de désargentation que les mattes; le nickel et le cobalt restent dans un résidu oxydé.

II. *Fusion pour speiss premier*. — Le résidu de la désargentation est fondu avec du mispickel et l'on obtient un speiss.

III. *Grillage du speiss*. — Le speiss est grillé en stalles.

IV. *Fusion pour speiss second*. — Le speiss grillé est fondu avec du sulfate de baryte: on obtient une matte de cuivre et un speiss enrichi que l'on vend à des usines spéciales.

§ 4. — Exemple emprunté à l'usine de Georges, près Dobsina, en 1867.

En 1867, la métallurgie du nickel à Dobsina différait par deux points de ce qu'elle est aujourd'hui:

1° Les minerais étaient triés avec moins de soin, de sorte que les minerais de nickel et de cobalt contenaient plus de cuivre qu'aujourd'hui.

2° Au lieu de pousser le traitement de ces minerais jusqu'aux cubes de nickel et à l'oxyde de cobalt, on se contentait de fabriquer un speiss riche à 33 p. 100 et on le vendait à d'autres usines.

I. *Grillage*. — Le minerai était, comme aujourd'hui, grillé en stalles.

II. *Première fusion*. — Le minerai grillé était fondu au four à cuve sans autre addition que les crasses provenant de la concentration du speiss. On passait par jour 11 tonnes de minerai et l'on consommait 2,7 de charbon de bois tendre.

On obtenait un speiss et une matte.

Le speiss contenait 7,8 p. 100 de cobalt et 13,8 p. 100 de nickel. La matte contenait 2,2 p. 100 de cobalt, 1 p. 100 de nickel et 3,5 p. 100 de cuivre. La scorie contenait à l'état de silicate 0,38 p. 100 de cobalt et 0,06 p. 100 de nickel. Elle ne renfermait aucune particule de matte ni de speiss. Les fumées de cette opération étaient inutilisées et nuisibles: elles donnaient aux ouvriers des abcès au nez.

III. *Traitement de la matte*. — Comme la matte entraînait le cuivre, il y avait avantage à la traiter à part pour ne pas réintroduire le cuivre dans le lit de fusion. La matte était traitée dans un four de rôtissage; on enlevait les crasses à plusieurs reprises, et après chaque écumage on rajoutait du sable ou du minerai quartzéux. Ces crasses contenaient peu de cobalt et de nickel à l'état de silicate, mais elles renfermaient des grenailles de matte: on les repassait à la première fusion.

En général on obtenait à cette opération un speiss et une matte séparés. Dans le cas où ce résultat n'était pas atteint, on refondait la matière avec une égale quantité de mispickel et avec un peu de scories acides nickelifères et cobaltifères. On obtenait ainsi une matte et un speiss. Il était difficile de tirer de la matte un cuivre utilisable. Quant au speiss, on l'ajoutait à celui directement obtenu à la première fusion.

IV. *Rôtissage du speiss premier.* — Le speiss provenant de l'un quelconque des traitements précédents était fondu sur la sole du four hongrois qui fonctionne encore aujourd'hui dans l'usine, mais qui traite aujourd'hui des speiss plus riches qu'autrefois.

Quand la masse était fondue, on soufflait, et il se faisait des crasses que l'on enlevait. A ce moment, il fallait modérer le feu pour permettre au soufre de se brûler, au fer de s'oxyder et au speiss de tomber sur la sole. Les crasses contenaient 6,24 p. 100 de nickel et 3,48 p. 100 de cobalt. Quand on les fondait dans un creuset, elles donnaient 12 p. 100 de speiss et 41 p. 100 de matte. La teneur de cette matte était de 6,6 p. 100 de cobalt et 6,0 p. 100 de nickel. Ces crasses retournaient à la première fusion.

Le speiss second tenait en moyenne 27 p. 100 de nickel et cobalt.

V. *Rôtissage pour speiss troisième.* — Une partie du speiss second était soumise à un second rôtissage qui amenait sa teneur à 33 p. 100.

§ 5. — Exemple emprunté à l'usine du Phénix près Dobsina, en 1867.

Tandis que dans l'exemple précédent le nickel était plus abondant que le cuivre, dans l'exemple suivant c'est le cuivre qui prédomine.

I. *Grillage.* — Le minerai était d'abord soumis à un grillage à 4 feux.

II. *Première fusion.* — Le minerai grillé était fondu avec du quartz et l'on obtenait seulement une matte.

III. *Grillage de la matte.* — Cette matte était grillée très-complètement à 8 feux.

IV. *Deuxième fusion.* — La matte première grillée était fondue encore au four à cuve et avec du quartz : on obtenait une matte très-riche en cuivre et capable de donner un

bon cuivre noir; les scories avaient entraîné presque tout le nickel et le cobalt et une partie du cuivre.

V. *Fusion des scories pour speiss.* — Les scories nickelifères étaient fondues dans un four à cuve avec de l'arsenic et du sulfate de baryte. La scorie obtenue devait être basique et cependant pauvre en fer afin d'être également pauvre en cobalt. On obtenait à cette opération un speiss et une matte. Le speiss seul était traité pour nickel.

VI. *Grillage du speiss.* — Le speiss était grillé en stalles.

VII. *Rôtissage du speiss pour speiss second.* — Le speiss grillé était soumis à un rôtissage au four hongrois dans le but de l'enrichir en nickel et cobalt. On le coulait sur de l'arsenic ou sur de l'orpiment, de façon à les séparer en une matte et un speiss. Ce dernier speiss était vendu à d'autres usines.

§ 6. — Exemple emprunté à l'usine de Kaafjord (Norwége).

L'usine de Kaafjord se trouve dans le même cas que l'usine du Phénix. Le nickel et le cobalt passent dans les crasses; on refond ces crasses avec du mispickel; il se fait un speiss que l'on concentre en deux ou trois opérations.

§ 7. — Exemple emprunté à une usine de Saxe.

Une usine de Saxe, dont j'ai oublié le nom, a réussi à traiter des loups ferrugineux renfermant du nickel et du cobalt. Ces loups étaient riches en molybdène, ce qui les rendait impossibles à bocarder. En voici une analyse :

Fe.	80,0
Cu.	2,5
Ni.	2,0
Co.	1,5
Mo.	6,0
S.	8,0

100,0

On commençait par fondre ce métal dans un creuset, puis, au moment de la coulée, on injectait contre le filet de métal un jet d'air et un jet d'eau. Le métal se trouvait ainsi granulé.

On le grillait au réverbère, puis on le fondait au réverbère avec du quartz, de façon à scorifier la majeure partie du fer et à avoir un régule riche en molybdène, nickel et cobalt. Ce régule était grillé au réverbère avec addition de carbonate de soude et de salpêtre. En reprenant par l'eau, on dissolvait le molybdate alcalin et l'on avait comme résidu un mélange d'oxydes de nickel, cobalt et cuivre.

En fondant cette matière avec du mispickel, on obtenait un speiss que l'on vendait à d'autres usines.

CHAPITRE VI.

TRANSFORMATION DES MATTES OU DES SPEISS EN DEMI-PRODUITS OXYDÉS, PAR LA VOIE SÈCHE.

§ 1. — Théorie de l'opération.

Quand les mattes ou les speiss ne contiennent que du nickel, il suffit de les griller pour avoir de l'oxyde de nickel. Dans ce grillage l'arsenic part difficilement et l'on est obligé, pour s'en débarrasser, d'avoir recours à du charbon qui réduit l'acide arsénique à l'état d'acide arsénieux et celui-ci à l'état d'arsenic métallique. L'acide arsénieux distille et se condense dans des chambres de condensation; il en est de même de l'arsenic métallique, mais celui-ci, en arrivant dans les chambres de condensation, s'y transforme de nouveau en acide arsénieux.

D'autres fois on emploie, au contraire, de l'azotate de

soude qui transforme l'arsenic en arséniate alcalin facile ensuite à enlever par lavage.

L'antimoine, quand il existe dans les speiss, est encore plus difficile à éliminer que l'arsenic.

Quand les mattes ou les speiss contiennent, en outre du nickel, une certaine proportion de cuivre, on ne s'en inquiète pas : seulement, au lieu d'obtenir du nickel pur, on obtient un alliage de nickel et de cuivre qui est une excellente matière première pour la fabrication du maillechort.

S'il y a trop de cuivre dans le produit grillé, on peut en extraire une partie au moyen d'acide sulfurique un peu étendu, qui dissout surtout l'oxyde de cuivre.

Quand les mattes ou les speiss contiennent une faible proportion de cobalt, on peut séparer celui-ci soit à l'état d'oxyde, soit à l'état de silicate, en profitant de ce qu'il est plus oxydable que le nickel.

Quand on a le cobalt à l'état de silicate impur, on peut employer deux procédés pour préparer de l'oxyde de cobalt. Le premier procédé consiste à réduire le silicate par du soufre ou de l'arsenic en le fondant avec du carbonate de soude : on obtient ainsi un sulfure ou un arsénure de cobalt que l'on grille ensuite. Le second procédé consiste à fondre le silicate dans un creuset pour en séparer les grenailles de speiss, à le mouler, et à le fondre avec un excès de carbonate alcalin et d'azotate de soude. En reprenant le produit par l'eau chaude, on a comme résidu un mélange d'oxyde de cobalt et de silice incolore pulvérulente qui se laisse entraîner par l'eau et qui d'ailleurs ne nuit pas à la qualité de l'oxyde de cobalt.

Quand les mattes ou les speiss contiennent des proportions notables de cobalt, il faut avoir recours à une séparation par voie humide.

§ 2. — Exemple emprunté à l'usine de Sâgmyra (Suède).

J'ai dit plus haut qu'on fabriquait par an à l'usine de Sâgmyra 100 tonnes d'une matte qui a la composition suivante :

Ni.	35,0
Cu.	40,0
Fe.	0,5
S.	22,0

Cette matte est granulée. On a tout récemment construit et essayé, pour le grillage de cette matte, un four à réverbère qui a donné les meilleurs résultats. Voici la description de ce four en commençant par la partie inférieure (V. *fig. 9 à 12*, Pl. VII) : au-dessous du sol est une chambre de condensation qui a la forme d'une croix et qui communique avec la cheminée. Cette chambre est recouverte d'une voûte en maçonnerie percée de 4 conduits, *a, a*, qui débouchent dans le laboratoire. L'extrados de cette voûte se trouve au niveau du sol de l'usine et supporte 4 piliers triangulaires, qui laissent entre eux deux voies libres où circulent des wagonnets et qui supportent la sole du four. Cette sole est percée de 8 conduits : les 4 premiers sont ceux dont nous avons déjà parlé : ils passent dans les piliers triangulaires et débouchent dans la chambre de condensation souterraine. Les 4 autres *c, c*, débouchent au-dessus des galeries où circulent les wagonnets : c'est par eux que se fait le déchargement. Le four est fermé latéralement par 4 murs qui laissent entre eux, aux 4 angles du carré, des portes de travail. La voûte du four est munie de 3 orifices, dont deux, *d, d*, servent au chargement, au moyen de trémies, et dont le troisième *e*, placé au centre, est traversé par deux tuyaux concentriques, qui amènent, l'un de l'air, et l'autre les gaz combustibles produits par un gazogène. Extérieurement le four présente l'aspect d'une tour octogonale de

3^m,60 de largeur et de 2^m,20 de hauteur. Intérieurement la sole figure un carré de 2^m,60 de côté dont les sommets sont coupés.

On charge le minerai par les trémies et on lance sur lui le dard du chalumeau. En même temps on brasse par les portes, qui sont très-commodément disposées pour ce travail. Les gaz brûlés descendent dans la chambre de condensation et, de là, vont dans la cheminée. Quand le grillage est fini, on fait tomber la charge dans les wagonnets.

Le four est armé de deux ceintures en fer, qui sont serrées au moyen d'une clef et de deux contre-clefs.

§ 3. — Exemple emprunté à l'usine de Victoria à Namburg (Silésie).

Jusqu'ici la matte de Sâgmyra était envoyée à l'usine de Victoria à Namburg. Là elle était d'abord grillée à mort dans un four à réverbère, puis traitée par l'acide sulfurique. On obtenait une dissolution, que l'on faisait cristalliser pour sulfate de cuivre, et un résidu d'oxyde de nickel avec un peu d'oxyde de cuivre et des traces d'oxyde de cobalt.

§ 4. — Exemple emprunté à l'usine de Georges à Dobsina en 1867.

On obtient, dans l'usine de Georges, un speiss contenant surtout du nickel. On avait essayé d'abord de griller ce speiss dans des réverbères chauffés au bois, mais au bout de 96 heures il restait encore de l'arsenic et de l'antimoine dans le speiss et il s'était de plus sali par le contact des outils en fer. En 1867, on en était arrivé à opérer de la manière suivante :

1. *Grillage avec addition de matières réductrices.* — Le speiss pulvérisé était grillé dans un four à deux soles, et à la fin du grillage on ajoutait de demi-heure en demi-heure des copeaux de sapin ou du poussier de charbon de bois.

II. *Grillage avec additions de matières oxydantes.* — Le produit de ce grillage contenait encore de l'arsenic et de l'antimoine. On le tamisait et on le passait à la meule, puis on le mélangeait avec 10 p. 100 de carbonate de soude, 5 p. 100 d'azotate de soude et 10 p. 100 de sel marin. L'arsenic et l'antimoine passaient en partie à l'état de chlorures volatils et en partie à l'état d'arséniates et d'antimoniates alcalins solubles. Le grillage devait durer 4 heures, après quoi les matières étaient laissées 2 heures à l'état pâteux. Après refroidissement, la matière était traitée à plusieurs reprises par l'eau chaude, et le résidu du lavage était desséché.

§ 5. — Exemple emprunté à l'usine de Schladming en 1860.

En 1860, on fabriquait à Schladming un speïss presque exclusivement composé de nickel et d'arsenic. On le soumettait à trois grillages successifs, précédés chacun par un bocardage. Ces trois grillages se faisaient dans le même four que le grillage du speïss premier. On opérait sur 200 kilogrammes. Le premier grillage durait 12 heures et consommait 6 stères de bois, le second durait 36 heures et consommait 19 stères de bois, le troisième durait 12 heures et consommait 7 stères de bois et même davantage. Pendant ce dernier grillage, au moment où la matière atteignait le rouge vif, on chargeait dans le four des copeaux de bois qui donnaient naissance à une flamme vive et à un courant gazeux réducteur. La flamme se colorait en noir par les fumées d'arsenic métallique. Au moment où cette couleur noire cessait, on laissait tomber le feu et l'on défournait.

§ 6. — Exemple emprunté à l'usine de Schladming en 1867.

En 1867, le speïss qu'on traitait à Schladming était moins riche qu'en 1860, et en outre il renfermait des proportions notables de cobalt.

I. *Fusion oxydante au réverbère.* — Ce speïss était d'abord fondu dans un réverbère. L'usine comprenait trois réverbères semblables, munis d'une cheminée commune. La sole de chacun de ces fours a une longueur de 1^m,30, une largeur de 1^m,10 et une profondeur de 0^m,08. La hauteur de la voûte au-dessus du bord supérieur du bassin est de 0^m,20.

On chargeait dans ces fours le speïss avec du quartz et du carbonate de soude, ou, quand on en avait, avec de l'arséniate de soude. Au bout d'un certain temps on enlevait les crasses et l'on rajoutait du quartz et du verre blanc. On recommençait cette opération tant que les crasses étaient noires, c'est-à-dire ferrugineuses. Jusqu'ici l'opération ressemble beaucoup à une opération décrite plus haut à propos de l'usine de Georges à Gniletz, près Dobschau, en 1876. Au moment où les crasses commençaient à devenir bleues par transparence, c'est-à-dire à contenir du cobalt, on continuait à chauffer, mais on n'ajoutait plus ni quartz ni verre blanc. A partir de ce moment, il se formait à la surface du bain une peau mince, principalement formée d'oxyde de cobalt, d'oxyde de nickel, d'arséniate de cobalt, etc. On retirait cette peau avec une pelle en bois; elle avait la composition suivante :

Co.	30 à 32
Ni.	25
Fe.	6 à 8
O.	16 à 18
AsO ³ et SiO ²	20
	100

Le produit qui restait sur la sole était un speïss raffiné qui avait la composition suivante :

Ni.	56 à 58
Co.	2 à 2 1/2
Fe.	traces
Cu.	1
As.	40

Pour 100 parties de speiss brut, on obtenait 8 ou 10 parties de peau et 75 à 80 de speiss raffiné. Les scories entraînaient la presque totalité du fer et des traces de cobalt. On chargeait dans le réverbère 100 à 150 kilog. de speiss. L'opération durait 8 heures et consommait 2 stères de bois.

Voici un exemple précis d'analyse, qui m'a été communiqué par M. Flechner :

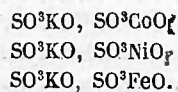
	SPEISS BRUT.	SPEISS RAFFINÉ.
Silicate.	0,4	0,6
Ni.	49,1	57,9
Co.	6,7	2,8
Fe.	7,6	0,2
Cu.	0,7	0,8
As.	30,5	35,5
S.	4,6	2,0
	99,6	99,8

Une fois, pour expérience, on a continué à ajouter du quartz et du verre blanc tant que les scories sont restées bleues. On est arrivé à avoir un résidu qui présentait la composition suivante :

Silicate.	0,2
Ni.	60,4
Cu.	0,8
As.	37,5
S.	0,7
	99,6

Le cobalt et le fer avaient rigoureusement disparu, mais ils avaient entraîné dans la scorie une notable proportion de nickel; aussi s'en est-on tenu à la première méthode de traitement.

II. *Traitement de la peau de cobalt.* — La peau de cobalt était fondue au réverbère avec un excès de bisulfate de potasse. Tout d'abord il se formait des sulfates doubles :



La température s'élevant, les deux derniers de ces trois sels étaient décomposés; il restait du sulfate neutre de potasse et de l'oxyde métallique. L'acide sulfurique qui était combiné à celui-ci se dégageait. Si l'on avait dépassé le point voulu, le sulfate double de potasse et de cobalt se serait décomposé comme les autres.

En reprenant par l'eau, on avait une dissolution de sulfate double de potasse et de cobalt dans un excès de sulfate de potasse, et un résidu formé d'oxydes de fer et de nickel. La dissolution était traitée par du carbonate de potasse: on avait ainsi un précipité riche en cobalt qu'on lavait, calcinaït et vendait. Quant au résidu d'oxydes de nickel et de fer, on le rechargeait dans le réverbère de raffinage avec le speiss. (V. la place de ces fours sur le plan *fig.* 19, Pl. VII.)

III. *Bocardage du speiss raffiné.* — Pour bocarder le speiss, on employait une batterie de 12 pilons, mue par une roue hydraulique et située à 200 mètres de l'usine de Mandling.

IV. *Grillage du speiss raffiné.* — Le speiss raffiné et bocardé était grillé dans un four à réverbère que j'ai vu à Mandling et dont voici la description (V. *fig.* 13 à 15, Pl. VII): la sole est carrée et a 2 mètres de côté; la chauffe est placée en dessous de la sole, et les gaz arrivent sur la sole par un orifice placé à son centre et entouré d'un pont circulaire. Aux quatre coins du four sont des portes de travail, d'où l'on atteint facilement tous les points de la sole. Les gaz sortent par les portes de travail, passent dans des hottes, repassent au-dessus de la voûte du four et s'échappent dans la cheminée. On chargeait 200 kilog. de speiss; l'opération durait 24 heures et consommait un peu moins de 4 stères de bois. A partir de la 20^e heure, on chargeait un mélange de carbonate de soude et de salpêtre en parties égales. On consommait 10 p. 100 de ce mélange. Il se formait d'abord des arséniates, puis ceux-ci étaient réduits par le speiss non grillé, et il se faisait de l'acide arsénieux dont une partie se

dégageait et une autre partie restait à l'état d'arsénite. A la fin de l'opération, le salpêtre transformait les arsénites en arséniates, puis le carbonate de soude réagissait sur les arséniates métalliques en donnant de l'arséniate alcalin et des oxydes métalliques.

V. *Lavage*. — Le produit du grillage était lavé. On employait pour cet usage des troncs d'arbres dans lesquels on avait creusé des bassins et qui pouvaient tourner autour d'axes horizontaux. (V. *fig.* 16.) La matière était mise dans le bassin avec de l'eau et agitée au moyen d'une palette en bois. De temps en temps on vidait l'eau en inclinant le tronc d'arbre. Les eaux de lavage pauvres étaient jetées; les eaux riches étaient évaporées et donnaient de l'arséniate de soude que l'on utilisait pour la fusion oxydante du speiss. La résidu du lavage était presque exclusivement formé d'oxyde de nickel.

§ 7. — Exemple emprunté à l'usine de Leogang.

A Leogang, on traite un speiss aussi exempt que possible de fer et l'on en extrait le cobalt à l'état de silicate. Cette opération doit se faire dans un four à réverbère sur une sole de sable quartzeux exempt de fer et sans aucune espèce de ciment argileux. En guise de ciment, on peut employer soit de la colle de pâte, soit une dissolution, concentrée de silicate alcalin. En fait, on construit la sole avec du sable humecté par cette dissolution et quand elle est construite on la badigeonne encore avec cette même dissolution, puis on la recouvre de charbon de bois et l'on charge le speiss. Il faut fondre vite, puis souffler tant qu'il se forme des scories. Quand il ne s'en forme plus, on enlève le charbon, on souffle du vent froid, on enlève la scorie et l'on rajoute du sable et du charbon. On emploie un ringard en bois. A la fin de l'opération, on ajoute un peu de soufre pour rendre les matières plus fusibles. La séparation du cobalt est plus lente que celle du fer. On obtient un speiss de nickel et des

scories cobaltifères. Les scories sont classées en 3 catégories : les premières sont d'un bleu verdâtre et contiennent du fer, les secondes sont d'un bleu pur et ne contiennent guère que du cobalt, les troisièmes sont d'un bleu rougeâtre et contiennent du nickel. Ces scories sont cassées et l'on trie avec soin les morceaux de quartz, de matte ou de speiss.

Le speiss de nickel est grillé pour oxyde de nickel. Les secondes scories sont traitées pour smalt. Les premières et les dernières scories sont fondues avec du mispickel et l'on obtient un speiss qui retourne au traitement.

CHAPITRE VII.

TRANSFORMATION DES MATTES OU DES SPEISS EN DEMI-PRODUITS OXYDÉS, PAR LA VOIE HUMIDE.

§ 1. — Théorie de l'opération.

Quand on a à traiter une matte ou un speiss contenant à la fois du nickel et du cobalt en quantité notable, il faut dissoudre la matière dans de l'acide chlorhydrique auquel on peut ajouter de l'acide azotique, de l'acide sulfurique ou du salpêtre, et opérer la séparation des métaux par voie de précipitation chimique.

On dissout quelquefois la matte à l'état cru. On a ainsi l'avantage de n'employer que la quantité d'acide qui est nécessaire pour dissoudre le fer, le nickel et le cobalt : le sulfure de cuivre reste insoluble, mais malheureusement le résidu contient aussi du nickel et du cobalt. Le plus souvent on commence par griller la matte avant de la dissoudre. Quand on a un speiss à dissoudre, on le grille toujours et l'on emploie pendant ce grillage, pour se débar-

rasser de l'arsenic, l'un des artifices que j'ai indiqués plus haut.

Dans la dissolution chlorhydrique, on précipite successivement les différents métaux par des réactifs appropriés. Cette opération est très-délicate, vu la faible différence qui existe entre les propriétés des différents métaux.

Quand la dissolution contient beaucoup de fer, on commence quelquefois par l'évaporer à sec et par calciner le résidu : de la sorte, une partie du fer part à l'état de chlorure volatil et une autre partie passe à l'état d'oxyde insoluble, de sorte qu'en reprenant la matière par l'eau on obtient une dissolution qui ne contient plus autant de fer que la dissolution primitive et qui ne contient plus d'acide chlorhydrique en excès. Cette opération nécessite, chez les ouvriers qui la pratiquent, une grande habileté, pour ne pas occasionner de pertes sensibles en nickel et en cobalt.

La dissolution est traitée d'abord par du carbonate de chaux qui précipite le fer en même temps que du cuivre et de l'arsenic, quand il y en a dans la dissolution. On précipite ensuite le cobalt à l'état de sesquioxyde par du chlorure et du carbonate de chaux. S'il reste beaucoup de cuivre dans la dissolution, on peut le précipiter par le sulfure de calcium. S'il n'en reste pas beaucoup, on traite la dissolution par de la chaux qui précipite le nickel à l'état de protoxyde, en même temps que ce qui reste de cuivre.

§ 2. — Exemple emprunté à l'usine de Scopello.

On prépare annuellement à l'usine de Scopello 120 tonnes de mattes qui ont la composition suivante :

Ni.	24
Co.	6
Cu.	12
Fe.	23
S.	35

100

I. *Dissolution de la matte.* — On commence par la pulvériser, puis on la charge dans des vases en grès placés eux-mêmes dans des tonneaux en bois. L'espace compris entre le vase et le tonneau est occupé par de l'eau, et l'on y envoie de la vapeur fournie par une vieille chaudière à un seul cylindre et sans bouilleurs. Le vase en grès est fermé par un disque de bois muni d'un tube de dégagement en fer. On ajoute de l'acide chlorhydrique contenant 55 p. 100 de gaz HCl. L'acide sulfhydrique se dégage par le tube en fer et on l'allume; quand la flamme baisse, on rajoute de l'acide jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus rien. On décante la dissolution et on laisse les résidus dans le vase pendant trois opérations. Après la troisième opération, on retire ces résidus qui sont riches surtout en cuivre, mais aussi en nickel et cobalt, et on les repasse dans le four à cuve avec le minerai ou avec la matte.

Dans 100 parties de matte, il y a 29 parties de soufre, en faisant abstraction de celui qui est combiné au cuivre. Il faut donc théoriquement une quantité de HCl égale à $29 \times \frac{36,5}{16} = 66$, ce qui correspond à 200 d'acide du commerce. Théoriquement, pour une partie de matte, on devrait consommer exactement 2 parties d'acide : en fait, on en consomme 2 et demie.

Après chaque opération, le liquide passe du vase de dissolution dans un tonneau de dépôt au moyen d'un siphon. Il y a deux batteries, qui se composent chacune de 3 vases de dissolution et d'un tonneau de dépôt.

II. *Évaporation à sec.* — La dissolution chlorhydrique de fer, nickel et cobalt est évaporée à sec dans un four à réverbère. L'appareil se compose d'une espèce de grande bassine en fonte, garnie intérieurement d'une chemise en briques. S'il se fait des fentes dans la chemise en briques, on les bouche avec un ciment composé de houille et de brique pilée. Au début, on faisait passer la flamme d'abord

par-dessous la chaudière, puis par-dessus, mais actuellement on se contente de la faire passer par-dessus. On brûle, comme combustible, de vieux tonneaux qui ont servi au transport du pétrole.

III. *Calcination.* — La matière évaporée à sec est un mélange pulvérulent de chlorures de fer, nickel et cobalt. Elle est chargée sur la sole d'un four à réverbère, sur une épaisseur de 6 centimètres, et calcinée pendant 3 ou 4 heures, durant lesquelles elle est soumise à un brassage incessant. Pendant cette opération, une partie du fer part soit à l'état de chlorure volatil, soit à l'état d'oxyde insoluble.

IV. *Peroxydation et précipitation du fer.* — La matière grillée est portée dans une cuve ovale de 2 mètres de long, 1^m,50 de large et 1^m,50 de haut. On y ajoute de l'eau et du chlorure de chaux en quantité strictement suffisante pour peroxyder ce qui reste de fer, puis on le précipite par du marbre pilé. Pendant la peroxydation et la précipitation du fer, on envoie un courant de vapeur d'eau dans la cuve.

On laisse ensuite reposer, puis on décante le liquide avec une pompe. La majeure partie du peroxyde de fer reste dans la cuve. On laisse reposer le liquide décanté pendant 20 minutes dans 8 tonneaux de dépôt et l'on soutire. Ce qui passe d'abord est trouble et retourne dans la première cuve. Ce qui passe ensuite est une dissolution claire de NiCl et CoCl.

V. *Peroxydation et précipitation du cobalt.* — Cette dissolution va dans une seconde cuve identique à la première, où se font la peroxydation du cobalt par le chlorure de chaux et sa précipitation par du marbre pilé. On a ainsi un précipité de sesquioxyde de cobalt et une liqueur de protochlorure de nickel.

VI. *Précipitation du nickel.* — La liqueur de protochlorure de nickel va dans trois grandes cuves où on lui ajoute un lait

de chaux, de façon à précipiter le nickel à l'état d'oxyde vert. On siphonne le liquide, qui n'est plus composé que de chlorure de calcium; on lave le précipité à l'eau pure, puis on le fait couler par un robinet dans des filtres.

VII. *Filtration des deux précipités.* — On a à filtrer, d'une part, le précipité noir et grenu de sesquioxyde de cobalt, d'autre part, le précipité vert, volumineux et gélatineux de protoxyde de nickel. Il faut laver ces précipités jusqu'à ce que les eaux ne précipitent plus par l'oxalate d'ammoniaque.

On emploie comme filtres 24 sacs en laine, profonds de 0^m,50 et présentant une ouverture carrée de 0^m,35 de côté. Pour faire ces filtres, on emploie une bande de laine de 0^m,70 de largeur et on la découpe en trapèzes qui ont 0^m,70 de grande base et 0^m,40 de petite base. On coud ensemble deux de ces trapèzes, puis on redouble le bord, de façon à y faire des ourlets. On fait dans l'ourlet quatre entailles, de façon à y passer deux bâtons qui servent à supporter le filtre.

VIII. *Calcination des précipités.* — Les précipités lavés sont calcinés pendant 12 heures dans un four à réverbère. Pendant cette calcination, l'oxyde de nickel, qui occupait une hauteur de 0^m,25 au début, se contracte et n'occupe plus à la fin qu'une hauteur de 0^m,06. Après cette chauffe l'oxyde de nickel est lavé encore une fois avec de l'eau un peu acidulée.

Produits et consommations: — Pour 100 parties de matte, j'ai déjà dit que l'on consommait 250 parties d'acide chlorhydrique. On obtient 40 parties d'oxyde de nickel et 9 parties d'oxyde de cobalt. Si l'on ne faisait pas l'opération III, on aurait à peroxyder 6 de cobalt et 30 de fer. Grâce à cette opération, on a moins de fer à peroxyder, mais, comme il faut toujours un excès de chlorure de chaux, on peut admettre qu'on emploie la quantité de chlorure de chaux qui serait nécessaire pour peroxyder 36 parties de

métal (fer ou cobalt). Or un équivalent de métal (29) demande $\frac{1}{2}$ équivalent de chlore (18). On aura donc besoin de 22 parties de chlore. Si l'on ne faisait pas l'opération III, on aurait à précipiter par le carbonate de chaux 6 de cobalt et 30 de fer à l'état de sesquioxides. Admettons, par les mêmes raisons que plus haut, que la quantité de carbonate de chaux consommée est équivalente aux $\frac{3}{2}$ de 36 de métal. L'équivalent du métal étant 29 et celui du carbonate de chaux 50, il faudra 93 parties de carbonate de chaux. On consomme un équivalent de chaux pour précipiter un équivalent de nickel, soit environ un poids égal, c'est-à-dire 24.

L'usine de Scopello fabrique annuellement 11 tonnes d'oxyde de cobalt qu'elle vend et 48 tonnes d'oxyde de nickel qu'elle réduit comme je le dirai plus loin.

§ 3. — Exemple emprunté à l'usine d'Oberschlemma.

L'usine d'Oberschlemma reçoit par an de l'usine de la Sesia 60 tonnes de mattes qui ont la composition suivante:

Ni.	16
Co.	14
Fe, Cu.	50
S.	20
	100

Cette matte est pulvérisée, criblée et grillée au réverbère. On la dissout dans de l'acide sulfurique, puis on précipite le fer et une partie du cuivre par du carbonate de chaux à l'ébullition. On précipite ensuite le cobalt à l'état de sesquioxyde que l'on transforme dans l'usine même en verre bleu, et le nickel à l'état de protoxyde que l'on réduit à l'état de cubes de nickel.

§ 4. — Exemple emprunté à l'usine de Georges à Dobsina en 1876.

L'usine de Georges traite par an 60 tonnes de speiss, qui ont la composition suivante :

Ni.	57
Co.	13
Cu.	2
Fe.	9
As.	38
S.	1
	100

Ce speiss est pulvérisé au moyen de bocards, puis criblé à travers un trommel. Les morceaux qui ne traversent pas le trommel sont moulus par des meules verticales.

I. *Grillage*. — La matière est ensuite grillée à mort dans un four à réverbère. On charge 300 kilog. de speiss. L'opération dure 12 à 14 heures et consomme 1 stère de bois que l'on brûle sur la grille au début de l'opération. A la fin de l'opération on ajoute 30 ou 40 kilog. de sciure de bois ou de poussier de charbon pour réduire l'acide arsénique à l'état d'acide arsénieux et d'arsenic métallique. Celui-ci se brûle de nouveau et se dépose dans les chambres de condensation à l'état d'acide arsénieux. Ce four est desservi par 3 ouvriers.

II. *Dissolution et précipitation*. — Le produit grillé est dissous dans les acides, et la dissolution est traitée comme à Oberschlemma. On emploie pour les filtrations des presses mécaniques assez analogues à celles dont on se sert dans les stéarineries pour extraire de la stéarine les dernières traces d'oléine. Les filtres sont des espèces de poches en laine de 0^m,60 sur 0^m,60; on en place une série entre des plaques de fer mobiles. Au moyen de pompes on peut envoyer dans les filtres, soit le précipité à filtrer, soit de l'eau claire, et l'on peut aussi serrer les plaques les unes contre les autres, par le jeu des mêmes pompes. On arrive ainsi à obtenir une filtration très-rapide.

L'oxyde de nickel est séché, calciné au rouge, lavé à l'eau acidulée et séché. Son traitement s'achève comme je le dirai plus bas.

Le peroxyde de cobalt est séché dans des étuves en bois formées par de grandes armoires munies de tiroirs dont les fonds sont à claire-voie. Puis on le chauffe au rouge dans des fours à réverbère à deux soles superposées, on le lave à l'eau acidulée et on le sèche. On le porphyrise enfin dans des moulins très-ingénieux : celui qui sert pour l'oxyde de première qualité se compose d'un mortier en fonte qui tourne autour de son axe de révolution, placé verticalement, et d'un pilon en fonte qui est animé d'un mouvement pendulaire; celui qui sert pour l'oxyde de seconde qualité se compose d'un mortier en fonte qui tourne autour de son axe de révolution, placé dans une position inclinée, et de boulets en fonte posés dans le mortier au milieu de la matière à broyer. Ces deux sortes d'oxydes de cobalt sont vendues aux usines royales de Saxe.

Je regrette de ne pas pouvoir décrire avec de plus grands détails les installations remarquables de l'usine de Georges.

§ 5. — Exemple emprunté à l'usine Saint-Benoît à Liège.

Le minerai pauvre du Val de Sierre (Valais) est transformé sur place en un speiss riche à 28 p. 100 en nickel et cobalt. Ce speiss est expédié à l'usine de Saint-Benoît à Liège, où un rôtissage l'amène à la teneur de 45 p. 100. Le speiss enrichi est attaqué à 80° par de l'acide chlorhydrique concentré. On traite la dissolution par de la chaux et du chlorure de chaux; le précipité, principalement formé de fer, contient aussi de l'arsenic, du nickel et du cobalt. Il doit rentrer dans le traitement métallurgique. On précipite ensuite le cuivre par du sulfure de calcium, et dans la liqueur purifiée on précipite successivement le cobalt et le nickel.

CHAPITRE VIII.

PRÉPARATION DES VERRES BLEUS DE COBALT.

L'usine d'Oberschlemma, en Saxe, est à peu près la seule usine qui fabrique des smalts. Elle achète à différentes usines les oxydes de cobalt que ces usines préparent comme un produit secondaire, et elle fabrique elle-même de l'oxyde de cobalt au moyen de mattes ou de speiss qu'elle achète à diverses usines.

Pour fabriquer le smalt on fond le sesquioxyde de cobalt avec du carbonate de soude et du quartz. Il paraît que la couleur obtenue dépend non-seulement de la proportion des matières employées, mais encore de leur état de pulvérisation plus ou moins complète. Le détail de cette fabrication est tenu secret.

A Leogang, on a essayé avec succès de fabriquer des smalts au moyen de scories cobaltifères. Ces scories contiennent, indépendamment du silicate de cobalt, un peu d'acide arsénique et d'alcali. Elles renferment en outre des grenailles de speiss dont il est facile de les séparer par une simple fusion.

Leur teneur en cobalt varie entre 35 et 45 p. 100. On commence par les fondre avec de la soude et de l'arsenic, de façon à obtenir un speiss de cobalt presque pur. Ce speiss de cobalt est fondu dans un four à réverbère soufflé, dont nous avons parlé dans le chapitre VI. Les premières scories sont un peu ferrugineuses, et les dernières un peu nickelifères, mais les scories intermédiaires constituent un smalt commercial.

CHAPITRE IX.

PRÉPARATION DES CUBES DE NICKEL.

§ 1. — Théorie de l'opération.

L'oxyde de nickel, préparé par voie sèche ou par voie humide, est mélangé avec un peu de farine et d'eau ; on en fait une pâte, que l'on cuit et que l'on découpe en cubes de 0^m,01 de côté. Ces cubes sont placés dans des creusets avec un peu de poussier de charbon de bois. Les creusets sont portés à une température supérieure à la température de fusion de cuivre. L'oxyde de nickel est réduit par le charbon de bois, et surtout par le charbon produit par la calcination de la farine. Le métal réduit ne fond pas, il se ramollit à peine ; aussi retrouve-t-on les dés, qui ont généralement conservé leur forme. Quelques-uns cependant se gondolent ou se soudent les uns aux autres. Il se fait quelquefois un peu de scorie, qui facilite l'accolement des dés ou qui se concentre sous la forme d'un petit bouton facile à détacher du dé métallique.

Les impuretés les plus fréquentes du nickel sont l'arsenic, le soufre, le cuivre et le cobalt. L'arsenic rend le nickel cassant dès qu'il entre dans la proportion de 1 millième. Le soufre ne doit pas non plus dépasser cette proportion de 1 millième. Le nickel rendu impur par du soufre paraît couvert de taches bleues et noires ; ses alliages ne se laissent pas laminer. Le cuivre donne au nickel une couleur jaune. Un nickel qui tient 10 p. 100 de cuivre est une excellente matière première pour la fabrication du maillechort. Le cobalt augmente la blancheur du nickel et corrige l'effet du cuivre. Il rend le métal plus dur, et même cassant, quand il atteint la proportion de 6 p. 100.

On consomme une quantité assez considérable de charbon pour réduire l'oxyde de nickel. La quantité de combustible dépensée par kilogramme de nickel est naturellement d'autant plus grande que la production est plus faible. Voici à cet égard le résumé des 4 exemples que je vais citer :

		PRODUCTION kgr. Ni.	CONSOMMATION.		CONSOMMATION par kilogr. nickel.	
			hectol. ch. de bois.	stères bois.	hectol. ch. de bois.	stères bois.
Scopello. . .	1876	50	30	»	0,60	»
Schladming.	1860	250	14	17	0,06	0,068
Schladming.	1867	350	»	12	»	0,035
Dobsina. . .	1876	25	25	»	1,00	»

§ 2. — Exemple emprunté à l'usine de Scopello.

Fabrication des dés d'oxyde de nickel.—On prend 4 kilog. d'oxyde de nickel et 50 grammes de farine. On mélange le tout avec un peu d'eau dans un moule en fer-blanc analogue à un moule pour pâtisserie et l'on égalise avec une petite pelle. On fait cuire les gâteaux pendant 20 minutes dans un four de boulanger chauffé à la température de 170°, mais on ne les met qu'au second étage du four. On découpe le gâteau au moyen d'un petit couteau et d'une règle carrée de 13 millimètres de côté. On a ainsi dans le moule une série de petits cubes de 13 millimètres de côté. On remet de nouveau les moules au feu pendant 4 ou 5 heures, jusqu'à ce que cela ne fume plus.

Réduction. — On prend ensuite les dés et on les place dans des creusets en grès avec du charbon de bois intercalé. Les creusets ont une hauteur de 0^m,25 et un diamètre de 0^m,15 à la partie supérieure. Cela fait une capacité de 2.800 centimètres cubes, et, comme chaque cube a un volume de 1^e,7, on peut en mettre environ 1.500 dans chaque creuset. On charge 6 ou 7 creusets dans un grand four à vent avec du charbon entre eux. Il y a au-dessus

des creusets un espace libre de plusieurs mètres cubes que l'on emplit de charbon.

L'opération dure 3 heures et consomme 30 hectolitres de charbon de bois. Elle fournit environ 10.000 cubes de nickel de 0^m,009 de côté, pesant chacun 5 grammes. Chaque opération fournit donc 50 kilog. de nickel.

Il y a dans l'usine un petit atelier de menuiserie et d'emballage pour l'expédition des cubes de nickel.

Résultats. — L'usine prépare par an 29 tonnes de nickel. En admettant que le four à vent fasse 5 opérations par jour, il n'a besoin de travailler que 115 jours par an. On prétend dans l'usine que ce nickel est pur, mais une personne étrangère à l'usine m'a affirmé y avoir trouvé 13 p. 100 de cobalt.

§ 3. — Exemple emprunté à l'usine de Schladming en 1860.

Fabrication des dés d'oxyde de nickel. — Le speiss, grillé à mort et transformé comme je l'ai dit plus haut en un mélange d'oxydes de nickel et de quelques autres métaux, était moulu dans un moulin à main. Il y avait dans l'usine 3 moulins, dont 2 en activité. Ces moulins se composaient : 1° d'une meule fixe formant cuve et munie d'une partie saillante centrale et d'un canal d'échappement ; 2° d'une meule mobile annulaire tournant autour de la partie saillante de la cuve et rattachée à un point fixe par une bielle. Le speiss grillé était amené au bord de la meule avec un filet d'eau et l'on obtenait une bouillie que l'on séchait dans un four à boulanger. L'ouvrier qui tournait la meule pouvait broyer par jour 35 kilog. de speiss grillé.

On additionnait le speiss grillé et moulu de 4 p. 100 de son poids de farine, et l'on façonnait à la main sur une aire en fer-blanc de petits gâteaux de 1^k,7 auxquels on donnait 0^m,15 sur 0^m,25 avec une épaisseur de 0^m,008. On séchait ces gâteaux, puis on les découpait à la main au moyen d'un long couteau tenu par le bord non effilé. En soulevant le

couteau après l'avoir introduit dans le gâteau, on soulevait par adhérence la tranche détachée et on la posait un peu plus loin. En 2 heures un ouvrier découpait 16 gâteaux. Chaque gâteau donnait 250 dés environ. On portait ensuite le tout au soleil ou dans le four à boulanger.

Réduction. — Les dés ainsi préparés étaient placés dans de grands creusets en argile réfractaire. Dans chaque creuset on chargeait les dés de 5 gâteaux, c'est-à-dire 8^k,5. On interposait entre les dés un peu de poussier de charbon de bois. On chauffait simultanément 40 creusets dans le four en étoile à 8 pointes, qui servait au grillage du speiss. L'opération durait 38 à 44 heures et consommait 17 stères de bois.

Seconde opération. — La plupart du temps les dés de nickel tirés des creusets et nettoyés subissaient une seconde opération analogue à la précédente pour achever la réduction. Cette opération durait 6 heures et consommait 14 hectolitres de charbon de bois.

Les cubes de nickel obtenus pesaient 5 grammes. En voici des analyses qui ont été faites à la Monnaie de Vienne :

	1857	1858	1859
Ni.	88,98	88,40	88,40
Co.	6,75	6,50	7,00
Cu.	1,80	1,70	1,91
Fe.	0,92	1,29	0,82
As.	0,80	0,54	0,64
SiO ₂	"	0,99	1,03

Chaque opération fournissait 250 kilog. de nickel et durait 4 jours, y compris le temps du chargement et du déchargement. L'usine avait à faire par an environ 18 opérations semblables.

§ 4. — Exemple emprunté à l'usine de Schladming en 1867.

De 1860 à 1867, la seule modification apportée à Schladming dans la fabrication des cubes de nickel a porté sur

les dimensions des creusets et la nature du four. En 1867, les creusets contenaient 12 à 15 kilog. d'oxyde et 1 kilog. à 1^k,3 de menu charbon de bois.

Le four était un four à réverbère circulaire avec deux portes de travail murées pendant l'opération. (V. *fig.* 17 et 18, Pl. VII.) La chauffe était placée au-dessous de la sole et les gaz arrivaient sur la sole par son centre. Les parois du four étaient traversées par 6 canaux qui conduisaient les gaz brûlés au-dessus de l'extrados de la voûte du four et de là dans la cheminée. On chargeait 40 creusets. L'opération durait 48 heures et consommait 12 stères de bois. Il fallait en outre un jour pour charger et un jour pour décharger. Chaque opération fournissait 350 kilog. de nickel et l'on en faisait 13 par an dans l'usine. Le nickel était plus pur que précédemment, en raison de l'extraction du cobalt dont j'ai parlé dans le chapitre VI.

§ 5. — Exemple emprunté à l'usine de Georges à Dobsina.

A l'usine de Georges à Dobsina, les creusets sont chauffés dans un four circulaire muni de 6 tuyères. L'opération dure 5 heures, consomme 25 hectolitres de charbon de bois et produit 25 kilog. de nickel.

CHAPITRE X.

ALLIAGES DE NICKEL.

§ 1. — Composition de ces alliages.

Les alliages de nickel les plus fréquemment employés sont ses alliages avec le cuivre. L'alliage le plus habituel

contient 22 p. 100 de nickel. L'alliage des monnaies est un peu plus riche; il contient :

Nickel.	25
Cuivre.	74
Divers.	1
	<hr/>
	100

On fabrique aussi un alliage tenant 50 à 60 p. 100 de nickel. Cet alliage n'est le plus souvent qu'une matière première pour la fabrication d'autres alliages, mais il trouve aussi son application directe dans l'horlogerie.

On appelle *maillechorts* des alliages qui contiennent 6 à 15 p. 100 de nickel, le reste étant formé de cuivre et de zinc dans la proportion de 2 de cuivre pour 1 de zinc. On y ajoute souvent un peu de plomb, d'étain, d'aluminium, de bismuth, de tungstène, etc., pour donner à l'alliage de la fusibilité et une belle couleur. Tous ces alliages renferment un peu de fer, mais rarement plus de 1 ou 2 p. 100. La présence de ce métal dans les alliages riches en nickel augmente les difficultés du laminage. Voici la composition d'un alliage pour lequel M. Sauvage a pris un brevet :

Cu.	58,0
Zn.	27,0
Ni.	12,0
Sn.	2,0
Al.	0,5
Bi.	0,5
	<hr/>
	100,0

Quand on force dans le maillechort la proportion du zinc, on augmente la dureté de l'alliage. Un alliage à 50 p. 100 de zinc est dur et résistant sans être fragile, et s'appliquerait bien aux usages culinaires. En poussant la proportion du zinc jusqu'à 90 p. 100 et en supprimant le cuivre, on obtient un métal fragile, susceptible de constituer une poudre galvanique très-brillante.

En combinant un alliage de nickel et de cuivre avec un

alliage d'étain et de tungstène, on obtient, d'après M. Sebillot, un bronze inaltérable. Cet alliage doit contenir au moins 6 p. 100 d'étain. On appelle *silverine* un alliage principalement composé de nickel et de cuivre avec un peu de cobalt. Cet alliage ressemble beaucoup à l'argent. Voici trois formules pour lesquelles M^e Pirsch a pris un brevet :

Cu.	79,50	75,00	71,00
Ni.	16,00	16,00	16,50
Co.	1,00	2,00	1,25
Zn.	1,00	2,25	7,50
Sn.	1,00	2,75	2,50
Al.	0,50	0,50	»
Fe.	1,00	1,50	1,25

Enfin on fabrique, sous le nom d'alliage d'antifriction, un alliage de nickel, cuivre, zinc et manganèse. Cet alliage remplace le bronze dans beaucoup de ses applications : on fait aujourd'hui en Autriche les têtes de bielles pour locomotives en fer forgé doublé avec de l'alliage d'antifriction.

§ 2. — Fabrication de ces alliages.

Le nickel maintenu une heure au rouge blanc ne fond pas, même en présence du cuivre. Sa fusion est instantanée si l'on ajoute un peu de verre blanc pilé. Il faut éviter, dans ces manipulations, le contact du fer et du nickel; aussi les outils sont-ils entourés de terre réfractaire; celle-ci est maintenue par des bagues en fer dont sont munis les outils. Si l'on veut ajouter du zinc aux alliages de cuivre et de nickel, on ne doit le faire qu'au moment de la coulée pour ne pas perdre trop de zinc. Pour fabriquer les maillechorts manganésés, on fond ensemble du cuivre à l'état métallique, ou plutôt à l'état d'oxyde ou de carbonate, avec du bioxyde de manganèse et de l'antracite. Après l'opération, qui dure de 5 à 20 heures, on retire de la masse des grenailles d'un alliage très-cassant de cuivre et de manganèse.

On refond ces grenailles avec du nickel et du verre blanc et au moment de la coulée on ajoute du zinc. Voici enfin le procédé qu'on emploie pour fabriquer la silverine; il comprend trois opérations :

1° On charge dans un creuset en plombagine le nickel à l'état de cubes, le cobalt à l'état métallique ou plutôt à l'état d'oxyde noir mêlé à une proportion convenable de charbon de bois, le fer, et le quart du cuivre qui doit entrer dans la composition de l'alliage; on achève de remplir le creuset avec du charbon de bois et avec 1 kilog. de borax. Le creuset est chauffé pendant 2 heures dans un four à vent, puis on coule l'alliage dans une lingotière métallique. Chaque opération donne 30 kilog. d'alliage.

2° On prépare et l'on coule en lingots un laiton composé de parties égales de cuivre et de zinc.

3° On réunit les deux alliages ainsi préparés, on leur ajoute du cuivre et de l'aluminium; on charge le tout dans un creuset d'argile qu'on achève de remplir avec du charbon de bois. L'opération dure une heure un quart et produit 30 kilog. de métal. On coule le métal dans des lingotières métalliques au moyen de poches également métalliques et enduites d'huile avec un peu de poussier de charbon de bois.

§ 3. — Préparation directe de ces alliages.

J'ai dit plus haut comment on fabriquait à l'usine de Victoria, près Namburg, au moyen de la matte de Sâgmyra, un mélange d'oxydes de nickel et de cuivre. Ce résidu est placé avec du charbon dans des creusets que l'on chauffe dans un four appelé *four français*. (V. fig. 22, Pl. VII.) Ce four se compose d'une longue grille sur laquelle les creusets sont placés sur deux rangs au milieu du charbon. Des deux côtés de cette grille sont deux murs, dont l'un est percé d'ouvertures qui laissent passer les gaz dans une conduite latérale qui les mène à la cheminée. La voûte du four est

munie d'orifices fermés par des portes. C'est par là que l'on charge les creusets au début de l'opération et le charbon pendant toute sa durée. On consomme par creuset 6 à 7 kilog. de coke, et l'on obtient par creuset 5. kilog. d'un alliage que l'on vend à la Monnaie.

§ 4. — Laminage de ces alliages.

Le laminage des alliages de nickel exige quelques précautions particulières. On sait que le cuivre se lamine à la température rouge et le zinc à la température de 50°. Les maillechorts se laminent à froid. Après chaque passage il faut réchauffer la plaque et la laisser refroidir lentement. A partir du 5° passage, on est en outre obligé de décaper la plaque par les acides avant de la faire passer au laminoir. Les alliages qui contiennent plus de 25 p. 100 de nickel se laminent mal, même avec les précautions que je viens d'indiquer.

CHAPITRE XI.

RÉSULTATS ÉCONOMIQUES DE LA FABRICATION DU NICKEL.

§ 1. — Considérations générales.

Le nickel est jusqu'ici un métal assez rare, dont les applications sont surtout limitées par son prix élevé. Le nickel vaut en effet environ 18 francs le kilogramme, et l'on n'en produit annuellement que 600 tonnes. On l'emploie surtout à l'état d'alliage, et à ce point de vue on peut dire que la monnaie de nickel est d'un usage bien plus commode que notre monnaie de billon. M. Becquerel a donné au nickel une autre application en faisant connaître le procédé de nickela e galvanique des métaux au moyen

d'une dissolution neutre de sulfate double de nickel et d'ammoniaque. L'objet à nickeler est placé dans un cylindre de verre au pôle négatif d'une pile dont le pôle positif est formé par une lame de nickel; le courant doit être très-faible. La tôle nickelée peut remplacer le fer-blanc. Pour nickeler la fonte, il faut d'abord la recouvrir d'un dépôt de cuivre. Il y a un avantage tout particulier à recouvrir de nickel les cuves où l'on concentre des dissolutions de sels de nickel.

Le nickel est généralement associé dans ses gisements avec le cobalt. Ce métal est encore plus rare que le nickel: son oxyde vaut environ 40 francs le kilogramme et est employé exclusivement à la fabrication de matières colorantes.

Si l'on fait abstraction des gisements de la Nouvelle-Calédonie, les mines de nickel actuellement exploitées se rapportent à deux types principaux: les premières donnent en général à peu de frais un minerai sulfuré pauvre, que l'on ne peut pas enrichir par préparation mécanique, parce que la gangue est surtout formée de pyrites de fer; les autres donnent un minerai complexe et riche, mais à un prix plus élevé, parce qu'il constitue des filons minces et qu'on est obligé, pour l'extraire, d'abattre une grande quantité de roche stérile dont on le débarrasse d'ailleurs facilement.

Le minerai riche peut supporter des frais de transport; mais le minerai pauvre ou moyennement riche doit être transformé près des mines qui le fournissent en une matte ou un speiss dans lequel le nickel et le cobalt se concentrent, et qui peut supporter des frais de transport. Le traitement de ces matières consomme beaucoup de combustible et des réactifs d'un prix élevé. Il n'y avait autrefois en Europe qu'un très-petit nombre d'usines qui achetaient du minerai soit à l'état brut, soit déjà concentré à l'état de matte ou de speiss, et qui le transformaient en

alliages de nickel et en verne de cobalt. Les principales de ces usines étaient situées à Birmingham, à Liège, à Oberschlemma, à Barendorf, etc. Aujourd'hui les petites usines situées près des mines tendent à s'affranchir du tribut qu'elles payaient à ces grandes usines et à fabriquer elles-mêmes au moins les cubes de nickel. Cette tendance irrationnelle au point de vue de la balance des transports s'explique, d'une part, par l'abaissement du prix des transports grâce aux nombreuses voies ferrées qui sillonnent aujourd'hui l'Europe et, d'autre part, par les exigences croissantes des grandes usines.

Si l'on compare les minerais sulfurés et les minerais arsénisés, on doit dire que les premiers sont supérieurs aux seconds. La grande affinité de l'arsenic pour le nickel facilite les premières opérations du traitement métallurgique, mais il est difficile, ou plutôt industriellement impossible, d'obtenir, avec les minerais arsenicaux, un nickel exempt d'arsenic, tandis que le soufre est au contraire beaucoup plus facile à éliminer, et en outre moins nuisible, s'il reste, que l'arsenic.

Je ne dispose que de renseignements assez restreints relativement aux frais de fabrication du nickel. Encore n'y a-t-il que ceux relatifs à l'usine de Schladming dont je sois sûr, parce que je les ai extraits des livres que l'ingénieur a bien voulu me communiquer. Voici le résumé des renseignements que j'ai pu recueillir :

1^o La matte à 30 p. 100, que l'usine de la Sesia fabrique avec les minerais de la Cevia et expédie à Oberschlemma, revient à Oberschlemma à 1^{fr},70 le kilogramme en monnaie italienne, c'est-à-dire 1^{fr},60 en monnaie métallique.

2^o A l'usine de Scopello, on fabrique 1 kilogramme de nickel et 0^k,57 d'oxyde de cobalt moyennant une dépense qui s'élève à 11^{fr},30 en monnaie italienne, c'est-à-dire 10^{fr},60 en monnaie métallique.

3^o A l'usine de Schladming, on peut fabriquer 1 kilo-

gramme de nickel et 0^k,04 d'oxyde de cobalt moyennant une dépense qui s'élève à 9^{fr},40 en monnaie autrichienne, c'est-à-dire 7^{fr},70 en monnaie métallique.

4^o La mine de Zemberg, à Dobsina, vend son minerai riche à 17 p. 100 en nickel et cobalt à raison de 2^{fr},50 le kilogramme en monnaie autrichienne, c'est-à-dire 2^{fr},05 en monnaie métallique, et l'usine de Georges, à Gniletz près Dobsina, vend son speiss riche à 30 p. 100 de nickel et de cobalt à raison de 4 francs le kilogramme en monnaie autrichienne, c'est-à-dire 3^{fr},30 en monnaie métallique.

Ces nombres, comparés aux prix de vente du nickel et du cobalt, prouvent que les mines qui préparent ces métaux réalisent en général des bénéfices considérables par kilogramme de nickel. Par contre, on doit dire que la production de ces usines est en général restreinte, puisque la production totale du nickel ne dépasse pas 600 tonnes par an.

§ 2. — Renseignements relatifs à l'usine de la Sesia à Varallo.

Une tonne de minerai, rendue à l'usine, coûte environ 50 francs. Ce minerai supporte les frais de traitement suivants :

	PAR TONNE de matte première.	PAR TONNE de minerai.
Cassage. . . .	»	1,00
Grillage. . . .	»	1,65
Fusion. . . .	»	34,57
Grillage. . . .	6,50	2,10
Fusion. . . .	23,26	7,45
Total.		46,57

La mine de la Cevia et l'usine de la Sesia sont dirigées par le même ingénieur; son fils est employé aux écritures. L'usine comprend deux fours de fusion, quelques stalles de grillage et une machine à vapeur, et peut représenter environ un capital de 40.000 francs. Je crois qu'on peut éva-

luer es frais généraux, en bloc, à 16.000 francs par an, c'est-à-dire à 20 francs par tonne de minerai. Le prix de revient s'établit donc ainsi :

Dépenses à la mine et transport.	50
Métallurgie. { Frais spéciaux.	46
{ Frais généraux.	20
Prix de revient de 72 kilogr. de matte. . .	116

Le prix de revient du kilogramme de matte s'élève donc à 1^f,61, à quoi il faut ajouter 0^f,08 pour le transport à Oberschlemma, ce qui fait en somme environ 1^f,70.

§ 3. — Renseignements relatifs à l'usine de Scopello.

Le prix de revient du minerai rendu à l'usine est d'environ 30 francs par tonne. La première fusion est plus économique qu'à Varallo : 1° parce que le four est plus élevé; 2° parce que la soufflerie est mue par une roue hydraulique. Par contre, on emploie un combustible plus cher. J'évalue le prix de revient de cette opération à 25 francs par tonne de minerai. Le grillage se fait dans des stalles perfectionnées et doit coûter environ 5 francs par tonne de matte. La seconde fusion doit, comme à Varallo, coûter moins cher que la première, parce que les matières sont plus faciles à fondre. On peut l'évaluer à 20 francs. La matte première supporte donc 25 francs de frais par tonne, ce qui fait 11^f,25 par tonne de minerai. Le prix de revient de la matte, par tonne de minerai, s'établit donc ainsi, non compris les frais généraux :

Dépenses à la mine et transport.	30,00
Métallurgie.	36,25
Prix de revient de 60 kilogr. de matte. . .	66,25

Le prix de revient du kilogramme de matte est donc de 1^f,10 environ.

Passons maintenant aux frais que supporte ce kilogramme de matte. On consomme 2^k,5 d'acide chlorhydrique. Cet acide coûte à Turin 220 francs la tonne. De Turin à Borgo Manero le transport par chemin de fer coûte 6^f,40, et de Borgo Manero à Scopello le transport par voiture coûte 25 francs. L'acide chlorhydrique rendu à l'usine coûte donc 251^f,40 la tonne, ce qui fait, pour 2^k,5, 0^f,63. On consomme 0^k,22, c'est-à-dire 70 litres de chlore. Il faudra donc environ 0^k,70 de chlorure de chaux. Celui-ci coûte à Marseille 25 à 28 francs les 100 kilogrammes, ce qui fait en moyenne 32 francs à Scopello. Comme on en consomme 0^k,70, cela fait 0^f,22. Le marbre blanc coûte 70 francs la tonne, mais on est forcé d'en laisser 1/4 comme rebut, ce qui porte son prix à 93 francs. Comme on en consomme 0^k,93, cela fait une dépense de 0^f,09. Pour cuire 1 tonne de carbonate de chaux, on consomme 0^f,50 de charbon et l'on obtient 0^f,6 de chaux. Le prix de revient de la tonne de chaux s'établit ainsi :

1 ^f ,67 carbonate de chaux à 93 francs.	155 fr.
0 ^f ,83 charbon à 80 francs.	66 —
Main-d'œuvre.	10 —
	<hr/>
	231 fr.

Comme on consomme 0^k,24 de chaux, cela fait une dépense de 0^f,05. En résumé, les réactifs employés sont les suivants :

Acide chlorhydrique.	0 ^f ,63
Chlorure de chaux.	0,22
Carbonate de chaux.	0,09
Chaux.	0,05
	<hr/>
	0 ^f ,99

On brûle du charbon surtout pour la réduction. On consomme 30 hectolitres, c'est-à-dire 540 kilogrammes de charbon de bois, pour faire 50 kilogrammes de nickel, ce qui correspond à 210 kilogrammes de matte. Par kilo-

gramme de matte on consomme donc 2^k,6 de charbon de bois, et comme celui-ci coûte 78 francs la tonne, cela fait 0^f,21. On peut évaluer à la moitié, soit 0^f,10, les autres frais de combustible.

L'usine comprend trois fours à cuve, des stalles de grillage, une roue hydraulique, un broyeur américain et un matériel compliqué pour la séparation du nickel et du cobalt. On peut évaluer le tout à 100.000 francs. Il y a un ingénieur qui s'occupe de la fonderie, et un chimiste qui s'occupe de la séparation du nickel et du cobalt. Ce chimiste a sous ses ordres plusieurs ouvriers spéciaux. Je crois qu'on peut évaluer les frais généraux, en bloc, à 36.000 francs par an, ce qui fait 0^f,30 par kilogramme de matte.

En résumé, le prix de revient par kilogramme de matte s'établit ainsi :

Prix de revient de la matte.	1 ^f ,10
Réactifs.	0,99
Combustible.	0,31
Frais généraux.	0,30
	2 ^f ,70

On obtient à ce prix 0^k,24 de nickel et 0^k,09 d'oxyde de cobalt. On peut dire que pour 11^f,30 on fabrique 1 kilogramme de nickel et 0^k,37 d'oxyde de cobalt. Chacun de ces deux produits suffirait à lui seul à assurer la rémunération des dépenses.

§ 4. — Renseignements relatifs à l'usine de Schladming.

Une tonne de minerai revient à 750 francs, et son traitement à Hopfriesen coûte 30 francs. Par conséquent 260 kilogrammes de speiss coûtent 780 francs, et 1 tonne de speiss 3.000 francs, auxquels il faut ajouter 40 francs pour le transport à Mandling. 1 kilogramme de speiss rendu à Mandling coûte donc 3^f,04.

Les frais de la métallurgie de Mandling s'établissent ainsi par kilogramme de speiss :

Raffinage au réverbère.	0 ^f ,29
Grillage du speiss raffiné.	0,18
Formation et réduction des cubes.	0,15
	0 ^f ,62

Les frais généraux s'élèvent à 4.000 francs par an ou 0^f,51 par kilogramme de speiss. Ce chiffre ne tient pas compte des intérêts d'argent ni du traitement de l'ingénieur. En résumé, on a donc :

Prix de revient du speiss.	3 ^f ,04
Métallurgie.	0,62
Frais généraux.	0,31
	3 ^f ,97

Il faut aussi tenir compte de la peau de cobalt. On en obtient 10 p. 100 du poids du speiss; elle est riche à 50 p. 100 en cobalt, et donne par conséquent un poids d'oxyde de cobalt égal à 4 p. 100 du poids du speiss. Si le traitement de la peau de cobalt coûte 0^f,60 par kilogramme, cela fait 0^f,06 par kilogramme de speiss.

Avec 4^f,23 de frais on obtient donc 0^k,45 de nickel et 0^k,04 d'oxyde de cobalt. On peut encore dire qu'avec 9^f,40 on obtient 1 kilogramme de nickel et 0^k,09 d'oxyde de cobalt.

CHAPITRE XII.

MINERAIS NÉO-CALÉDONIENS.

§ 1. — Considérations générales.

Jusqu'ici je me suis occupé exclusivement des minerais de nickel européens. Mais je ne puis passer sous silence les minerais silicatés de la Nouvelle-Calédonie, bien que

je n'aie à leur égard que peu de renseignements. Ces minerais ne contiennent pas de soufre ni d'arsenic; ils ne contiennent pas non plus en quantité notable de cobalt ni de cuivre, bien qu'il existe aussi en Nouvelle-Calédonie des mines de ces métaux. Il résulte de là que le nickel que l'on extrait de ces minerais est plus pur que celui qu'on fabriquait jusqu'à ce jour et peut probablement se prêter à des applications nouvelles. Pour cette raison, il est à souhaiter que le minerai oxydé exploité en Nouvelle-Calédonie se continue en profondeur et ne constitue pas seulement l'affleurement de filons sulfurés ou arsénisés.

Depuis leur découverte, les minerais de la Nouvelle-Calédonie ont été soumis à des procédés très-variés de traitement par la voie sèche et par la voie humide. Ces essais sont trop récents pour que l'on puisse conclure dès à présent quelle est la meilleure formule de traitement. Je serai aussi bref que possible et je renverrai, pour les détails, aux brevets qui ont été pris depuis deux ans, et dont les principaux portent les numéros suivants : 111.532, 111.591, 112.182, 112.379, 112.661, 112.735, 113.903, 115.725, 116.407, 117.211.

Traitement par la voie sèche. — M. Garnier se propose de réduire le silicate de nickel par le charbon, et il a transformé pour cet usage l'usine de Septèmes près Marseille. Il traite le minerai de Nouvelle-Calédonie par plusieurs méthodes imitées de la métallurgie du fer, et fabrique du nickel métallique et un carbure fondu de nickel qui est une véritable fonte de nickel, et qu'il transforme par un affinage ultérieur en nickel industriellement pur. Mais le nickel est beaucoup plus voisin, par ses propriétés, du cuivre que du fer, et il a beaucoup moins d'affinité pour le carbone et pour le fer que pour le soufre, l'arsenic, l'antimoine et le cuivre; je ne crois pas que le fer et le charbon soient des véhicules bien choisis pour entraîner le nickel, et je crois qu'il vaudrait mieux employer comme réducteur

le soufre ou l'arsenic, malgré l'inconvénient évident qu'il y a à introduire du soufre ou de l'arsenic dans des minerais qui en sont exempts. Cet inconvénient est moindre avec le soufre que l'on peut plus facilement éliminer ultérieurement, mais, d'autre part, le soufre est moins efficace que l'arsenic pour extraire le nickel de son silicate. Dans tous les cas, j'estime que le traitement par le soufre ou l'arsenic est le meilleur procédé pour extraire économiquement et complètement le nickel contenu dans les scories et dans les résidus oxydés que peut fournir le traitement des minerais néo-calédoniens par la voie sèche ou par la voie humide.

Traitement par la voie humide. — En présence des difficultés du traitement par la voie sèche, M. Christofle a essayé sur les minerais de la Nouvelle-Calédonie plusieurs procédés de traitement par la voie humide. On attaque le minerai par de l'acide chlorhydrique, puis on précipite le nickel seul à l'état d'oxalate que l'on calcine au creuset brasqué. Ce procédé réussit bien, mais il a l'inconvénient de consommer de l'acide oxalique qui est un réactif coûteux. On lui en a substitué un autre qui évite l'emploi de ce réactif : après avoir attaqué le minerai, on précipite le fer et l'alumine, puis on précipite le nickel à l'état de protoxyde ou de sesquioxyde. La difficulté de ce traitement provient de l'acide sulfurique que l'on introduit par l'emploi de l'acide chlorhydrique du commerce et qu'il faut éliminer afin que le nickel soit exempt de soufre. Le nickel obtenu par ces différents procédés présente un grand degré de pureté. En voici une analyse due à M. Riche :

Ni.	97,75
C.	1,25
Si.	0,54
Mn.	0,36
	<hr/>
	99,90

Ce métal s'écrase sous le marteau sans se briser, ce qui

prouve que l'aigreur que présentait le nickel préparé jusqu'ici était due à ses impuretés.

Je ne serais pas surpris qu'on eût recours, chez M. Christofle, à un procédé qui consisterait à précipiter le nickel directement à l'état métallique au moyen de l'électricité.

Postérieurement à ses essais de traitement par la voie humide, M. Christofle a imaginé un procédé mixte qui consiste à débarrasser le minerai, autant que possible, de l'oxyde de fer auquel il est mélangé, par des opérations empruntées à la voie humide, et à réduire ensuite le minerai purifié par la voie sèche. M. Garnier prétend que l'on n'arrive jamais à séparer le nickel du fer en attaquant le minerai cru ou calciné par les acides; M. Christofle affirme le contraire. D'après lui, ces procédés de la voie mixte seraient jusqu'ici la meilleure solution, car ils sont plus économiques que les procédés de la voie humide et ils donnent un nickel suffisamment exempt de fer pour être utilisable. Voici, en effet, une analyse de ce métal, qui est due à M. Riche :

Ni.	98,00
Fe.	1,60
Cu.	0,50
Si.	0,15
	100,25

Telles sont les principales méthodes de traitement sur lesquelles je vais donner quelques détails succincts.

§ 2. — Réduction du silicate de nickel par le charbon.

M. Garnier a essayé de fabriquer directement le nickel métallique en réduisant le minerai dans un four à manche sans arriver à la fusion. On obtient un magna que l'on pulvérise et d'où l'on sépare les grenailles de nickel par le lavage ou au moyen d'un électro-aimant. Les laitiers sont trop riches en nickel pour pouvoir être jetés. Par cette

raison, M. Garnier paraît avoir renoncé à ce procédé et s'être décidé à fabriquer comme premier produit une fonte de nickel.

Fabrication de la fonte de nickel. — M. Garnier pulvérise le minerai, le mélange à des fondants et à du poussier de charbon, lui ajoute quelquefois de l'oxyde de manganèse, agglomère le tout ensemble par du goudron et en fait, soit des morceaux de la grosseur d'une noix, qu'il calcine dans des creusets employés habituellement à la fusion de l'acier, soit des briquettes qu'il comprime et qu'il cuit, et qu'il charge ensuite dans un haut fourneau. Dans l'un et l'autre cas, la scorie contient des parcelles de nickel et il faut la pulvériser, séparer les grenailles métalliques au moyen d'un barreau aimanté et les refondre au creuset brasqué.

La fonte obtenue par le procédé précédent contient toujours du fer, à moins que le minerai en soit exempt. On peut arriver de la manière suivante à obtenir une fonte de nickel exempte de fer, à la condition que le minerai contienne au moins 6 parties de nickel pour une de fer : on traite ce minerai dans des fours à cuve de 4 mètres de hauteur, dans lesquels on souffle de l'air froid faiblement comprimé; on emploie des fondants énergiques, tels que le spath fluor, le manganèse, le carbonate de soude, de façon à avoir des laitiers très-fusibles et cependant pas trop ferrugineux, pour qu'ils ne décarburent pas la fonte de nickel. Il faut éviter la présence du soufre dans le lit de fusion, car il pourrait décarburer la fonte de nickel en entraînant le carbone à l'état de sulfure de carbone. Le creuset doit avoir des dimensions restreintes, afin de pouvoir être porté à une très-haute température. Grâce à toutes ces précautions, on arrive à réduire le silicate de nickel sans réduire l'oxyde de fer et à avoir une fonte de nickel exempte de fer, malléable, tenace et susceptible d'être polie.

Affinage de la fonte de nickel. — Pour décarburer la fonte

de nickel, ferrifère ou non, on peut employer les trois procédés suivants :

1° On peut opérer par cémentation, en chauffant de petits lingots de fonte ou des objets moulés, dans une caisse en briques réfractaires, au milieu d'une masse d'oxyde de fer en poudre.

2° On peut soumettre la fonte de nickel à un véritable puddlage, de façon à obtenir une loupe de nickel que l'on traite au marteau ou au laminoir comme une loupe de fer.

3° On peut décarburer la fonte de nickel fondue sur la sole d'un four à réverbère, par l'action oxydante de la flamme, en ajoutant au besoin un peu de nitre. Au moyen de sable quartzeux, on forme une scorie qui entraîne les impuretés. Par analogie avec le procédé Martin, il peut être bon d'ajouter à la fin de l'opération un peu de fonte de nickel manganésifère. On ajoute également, à la fin de l'opération, au bain de nickel fondu, soit de la fonte de nickel, soit du nickel obtenu par cémentation ou par puddlage.

Quand la fonte de nickel contient du cobalt, on ne peut faire la séparation que par voie humide. Si l'on veut reprendre la fonte par les acides, il faut d'abord la décarburer. Si l'on opère par puddlage, on obtient une éponge que l'on ne porte pas au marteau-pilon, et si l'on opère par fusion oxydante, on grenaille le nickel obtenu. Même à l'état d'éponge ou de grenaille, le métal est difficilement attaquant. Si l'on doit recourir à la voie humide, il vaut mieux l'appliquer directement aux minerais.

Alliage de fer et de nickel. — Quand on a des minerais trop pauvres pour être traités par les méthodes qui précèdent, on les mélange à du minerai de fer riche, de façon à obtenir en tout 15 p. 100 de fonte. M. Garnier prétend que le fer entraîne le nickel comme le plomb entraîne l'argent. Le minerai de fer peut être remplacé avantageusement par des oxydes de manganèse, cobalt, chrome, etc.

On obtient aussi des fontes de composition complexe, très-fusibles, faciles à limer et à polir. Voici un exemple de la composition de ces fontes :

Fe.	58,0
Ni.	55,1
Cr, Mn, Co.	1,5
C.	3,0
Si.	2,4
	100,0

On peut encore obtenir une fonte de fer nickelifère en chargeant simplement du minerai de nickel dans des hauts-fourneaux à fonte de fer. La fonte de fer et de nickel, traitée comme la fonte de nickel, donne un alliage de fer et de nickel dont la composition rappelle en quelque sorte celle des météorites. M. Garnier prétend que le fer, allié à un peu de nickel, devient inoxydable, dur et tenace, et est éminemment propre à fabriquer des tôles de chaudières, des ringards, etc. On peut encore fabriquer cet alliage en ajoutant du nickel dans les fours Siemens où l'on fabrique du fer fondu par le procédé Martin.

Alliage de cuivre et de nickel. — M. Garnier veut aussi fabriquer des alliages de nickel avec le cuivre et plusieurs autres métaux. A cet effet il se propose d'appliquer les deux méthodes suivantes :

1° Le premier procédé consiste à préparer une fonte de nickel et à l'affiner sur la sole d'un four à réverbère par l'action oxydante de la flamme. On ajoute de l'oxyde de cuivre, de l'oxyde de zinc et de l'oxyde de nickel, dont l'oxygène se combine au carbone, au silicium et au fer. Au moyen de fondants appropriés, tels que manganèse, borax, spath-fluor, sel marin, on entraîne les impuretés à l'état de scories. A la fin de l'opération, on ajoute au bain de nickel les métaux que l'on veut lui allier.

2° Le second procédé consiste à fondre directement le minerai de nickel avec du cuivre ou de l'oxyde de cuivre

et du charbon, en ayant soin de ne pas trop élever la température pour ne pas trop réduire d'oxyde de fer. On obtient une fonte de nickel et de cuivre que l'on grenaille et que l'on refond avec de l'oxyde de cuivre ou avec de l'oxyde de nickel pour l'amener à une teneur voulue. On peut affiner la fonte de nickel et de cuivre dans un réverbère ou par cémentation.

Procédé Mason et Parkes. — MM. Mason et Parkes ont imité de la manière suivante ces dernières opérations : ils fondent le minerai de nickel oxydé avec du minerai de cuivre oxydé et des fondants convenables sur la sole d'un four à réverbère. Ils obtiennent ainsi un alliage de nickel, cuivre et fer, qu'ils fondent une seconde fois avec de l'oxyde de cuivre, afin d'entraîner le fer dans une scorie. On peut avoir recours à du chlorure de plomb pour entraîner les dernières traces de fer à l'état de chlorure.

Procédé Sebillot. — Je ne parlerai que pour mémoire des procédés par voie sèche de M. Sebillot : ils ne sont qu'une reproduction de ceux de M. Garnier, et les deux seules dées neuves qu'ils contiennent sont les suivantes : M. Sebillot a recours, dans le haut-fourneau, à l'action oxydante du vent de la tuyère pour oxyder le fer, et il fait le raffinage de la fonte de nickel dans un creuset fixe muni d'un trou de coulée et chauffé dans un four de verrerie.

§ 3. — Réduction du silicate de nickel par le soufre ou l'arsenic.

On peut employer le soufre et l'arsenic sous plusieurs états différents pour extraire le nickel de son silicate naturel.

1° On peut employer le soufre natif brut, à la condition d'en avoir à bon marché.

2° On peut employer le sulfate de baryte ou le sulfate de chaux, qui se réduisent dans un four à cuve à l'état de sulfures.

3° On peut employer des sulfures ou des persulfures alcalins ou alcalino-terreux.

4° On peut employer la charrée de soude, qui est un résidu de fabrication facile à avoir à bas prix.

5° On peut employer la pyrite de fer ou le mispickel, mais ces réactifs ont l'inconvénient d'introduire trop de fer dans les mattes ou dans les speiss ;

6° On peut employer de la pyrite cuivreuse ou du cuivre gris exempt d'antimoine, de façon à avoir une matte ou un speiss cupro-nickelifère que l'on traiterait, comme cela se fait actuellement à Namburg (voir plus haut) pour un alliage fondu de nickel et de cuivre.

7° On peut associer le minerai de la Nouvelle-Calédonie à des minerais de nickel européens. L'excès de soufre ou d'arsenic contenu dans ces minerais réduirait le silicate de nickel, et de son côté le silicate de magnésie, qui forme la majeure partie de la gangue des minerais néo-calédoniens, constituerait un excellent fondant pour les minerais européens. Un essai a été tenté dans ce sens par M. Flechner depuis mon passage à Schladming.

Procédé Hessel. — M. Hessel fond le silicate de nickel avec de la charrée de soude ou des persulfures alcalins. Il obtient une matte de nickel plus ou moins exempte de fer, un excès de sulfures alcalins que l'on peut employer de nouveau, une scorie qui entraîne principalement la magnésie et l'oxyde de fer. La matte est grillée au réverbère avec addition de quartz. On obtient une matte concentrée et des scories nickelifères qui retournent à la fonte crue. La matte concentrée est traitée par les procédés habituels de voie sèche ou de voie humide, ou bien par le procédé suivant : on la grille autant que possible pour sulfate et l'on ajoute du sel marin à la fin du grillage. En reprenant la matière par l'eau, on obtient une dissolution principalement composée de chlorure de nickel. Dans le résidu insoluble, on sépare les parties de matte non grillée que l'on repasse à

un second grillage, et les portions d'oxyde de nickel plus ou moins mélangé à de l'oxyde de fer que l'on repasse à la fonte crue avec le minerai.

§ 4. — Procédés de traitement par la voie mixte.

1^{er} *Procédé Christofle.* — M. Christofle, jugeant que la présence du fer dans le minerai de la Nouvelle-Calédonie est la plus grosse difficulté du traitement de ce minerai par la voie sèche, s'efforce de séparer le fer par un traitement préalable par la voie humide. On commence par trier les échantillons qui ne contiennent pas d'oxyde de fer visible et l'on soumet le reste du minerai à un lavage qui entraîne des boues ferrugineuses très-pauvres en nickel. Le minerai lavé est soumis à un bocardage et à un second lavage qui donne des boues ferrugineuses encore assez pauvres en nickel. Après ce second lavage, le minerai est pulvérisé et traité par l'acide chlorhydrique : le fer se dissout avant le nickel, de sorte que l'on obtient d'une part un minerai de nickel purifié, et d'autre part des liqueurs chlorhydriques dans lesquelles on dissout les deux sortes de boues ferrugineuses et que l'on traite ensuite pour nickel par les procédés de la voie humide que nous indiquerons plus bas.

Le minerai enrichi est réuni au minerai riche séparé par triage, mélangé à du charbon de bois et à des carbonates de soude et de chaux, et réduit soit dans des creusets, soit sur la sole d'un four à réverbère. On obtient ainsi une fonte de nickel que l'on affine en la fondant avec du nitre.

Si l'on veut fabriquer des alliages de nickel et de cuivre, on peut faire d'abord une fonte de nickel et la refondre avec du cuivre, mais il vaut mieux, dans ce cas, prendre le minerai de nickel débarrassé d'oxyde de fer, lui ajouter de l'oxyde de cuivre et des fondants appropriés et le réduire par du charbon.

2^o *Procédé Christofle.* — On peut remplacer avantageu-

sement l'acide chlorhydrique par de l'acide oxalique ou par un autre acide organique. L'acide oxalique se prépare en chauffant une matière organique avec des réactifs oxydants, et il a l'avantage de pouvoir être régénéré ainsi qu'il va être dit. Le minerai pulvérisé est traité pendant plusieurs heures à la température de l'ébullition par une dissolution concentrée d'acide oxalique qui ne dissout aucune trace de nickel. On décante et on lave le résidu, puis on traite les eaux par un lait de chaux de façon à obtenir un précipité d'oxalate de chaux que l'on traite à son tour par de l'acide sulfurique. L'acide oxalique se trouve ainsi régénéré et l'on n'a consommé que de l'acide sulfurique. Le minerai débarrassé de son fer est fondu avec du charbon et des fondants calculés de manière que la scorie présente la composition suivante :

SiO ³	68
CaO.	15
NaO.	12
MgO.	5
FeO.	2
	100

Cette scorie est pulvérisée et l'on en sépare les grains de nickel au moyen d'un barreau aimanté. On peut ensuite la refondre pour verre à bouteilles.

Procédé Mason et Parkes. — MM. Mason et Parkes voulant fondre le minerai de nickel avec du *Corocoro*, afin d'obtenir un alliage de nickel et de cuivre, ont imaginé un procédé pour débarrasser au préalable le minerai de nickel d'une partie du fer dont il est souillé : ce procédé consiste à fondre le minerai avec du sel marin en laissant la température assez basse, de façon à obtenir une masse semi-fluide, que l'on pulvérise et que l'on reprend par l'eau.

§ 5. — Procédés de traitement par la voie humide.

1^{er} *Procédé Christofle.* — Le minerai pulvérisé est attaqué par de l'acide chlorhydrique dans des vases en grès de 100 litres chauffés au bain-marie par la vapeur d'eau. Au moyen d'un tour de main tenu secret, on arrive à ne pas dissoudre complètement la magnésie et à économiser ainsi une certaine quantité d'acide. Pour peroxyder le fer, on ajoute un peu d'acide azotique, ou plutôt on ajoute dans la liqueur décantée un peu de chlorure de chaux, qui, en présence de l'excès d'acide chlorhydrique, ne précipite pas le nickel. La liqueur, ramenée à une teneur de 20 p. 100 en nickel, est chauffée dans une bassine en fonte émaillée, ou mieux dans un vase en grès, et on lui ajoute 50 à 60 grammes d'acide oxalique par litre. Le nickel se précipite seul à l'ébullition à l'état d'oxalate, et quand la liqueur est décolorée on la décante. Le précipité est lavé, séché et calciné au creuset brasqué avec de la chaux : il se décompose en acide carbonique et en nickel.

2^e *Procédé Christofle.* — On dissout le minerai comme dans le premier procédé et l'on amène la dissolution dans de grands bacs en bois où l'on précipite l'oxyde de fer et l'alumine par de la craie en poudre. Les boues ferrugineuses entraînent du nickel et ne doivent pas être jetées. Dans la liqueur on ajoute du chlorure de baryum qui précipite la petite quantité d'acide sulfurique qui provient de l'acide chlorhydrique du commerce. On traite ensuite la liqueur par du chlorure de chaux, qui précipite le nickel à l'état de sesquioxyde noir. La précipitation n'est jamais complète parce que l'excès de chlore redissout en partie l'oxyde de nickel. Il faut ajouter à la fin de l'opération un peu d'eau de chaux pour que le précipité soit complet. Ce précipité est lavé, séché, lavé à l'eau bouillante, calciné, lavé à l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique, séché et réduit par le charbon dans un creuset brasqué.

3^e *Procédé Christofle.* — On dissout le minerai et l'on précipite l'oxyde de fer et l'alumine comme dans le 2^e procédé. On décante alors la liqueur et, si elle ne contient pas de magnésie, on lui ajoute un peu de chlorure de magnésium. On traite ensuite la liqueur par une quantité d'eau de chaux calculée de façon à précipiter tout l'oxyde de nickel et un peu de magnésie, car il est impossible de précipiter complètement l'oxyde de nickel sans qu'il entraîne de la magnésie. Le précipité, lavé à l'eau chaude et séché, est mélangé à du charbon et mis sous forme de cubes que l'on calcine à très-haute température, de façon à obtenir une ou plusieurs gouttes de nickel entourées d'une scorie sulfureuse et magnésienne. Loin d'être nuisible, la magnésie a donc servi à entraîner le soufre et a dispensé de l'emploi du chlorure de baryum. Les gouttes de nickel sont battues au pilon et soumises à un tamisage et à un lavage. Les scories pulvérisées sont traitées au magnétotrieur afin d'éviter de perdre des parcelles métalliques, les parcelles de nickel ainsi récupérées sont réunies aux cubes de nickel réduits, mais non fondus, et ces matières sont fondues avec du carbonate de soude et du carbonate de chaux. On obtient ainsi une fonte de nickel qui s'aplatit sous le marteau et que l'on coule dans une cuve à grenailier. Si l'on veut fabriquer du nickel pur, il faut refondre ces grenailles et leur ajouter avant la coulée des oxydes métalliques, afin de les décarburer. On peut employer à cet usage de l'oxyde de nickel ou de l'oxyde de zinc, qui ont l'avantage de n'introduire aucun métal nouveau, en raison, pour le dernier, de la volatilité du zinc. Si l'on veut fabriquer des alliages, on fond les gouttes de nickel impur avec du cuivre et du zinc : le carbone s'élimine pendant cette fusion. Mais il vaut mieux, dans ce cas, ne pas passer par l'intermédiaire des gouttes de nickel, mélanger le précipité de protoxyde de nickel avec des battitures de cuivre ou avec du minerai de cuivre

oxydé, et réduire le mélange par des matières charbonneuses.

1^{er} Procédé Rousseau. — On attaque le minerai par de l'acide chlorhydrique et l'on décante la liqueur dans des bassins en bois doublés de plomb. Après lavage, le résidu de silice pulvérulente peut servir à fabriquer du verre soluble. On peroxyde le fer par du chlorure de chaux. Cette opération peut aussi se faire avant la séparation de la silice. On précipite l'oxyde de fer par du carbonate de chaux ou du carbonate de baryte et l'on décante. On précipite ensuite le protoxyde de nickel par un lait de magnésie employé en proportion calculée. Dans le cas où l'on a employé le carbonate de baryte, on peut employer les eaux-mères pour préparer des sels barytiques.

Quand on obtient une liqueur de chlorures de magnésium et de calcium, on l'évapore à sec et l'on traite le résidu par un courant de vapeur d'eau surchauffée. On régénère de la sorte l'acide chlorhydrique et la magnésie. On recueille l'acide chlorhydrique dans des bombonnes et on lave à grande eau le résidu de magnésie.

2^o Procédé Rousseau. — On attaque le minerai par de l'acide chlorhydrique comme dans le premier procédé, mais sans employer de chlorure de chaux. La liqueur décantée est traitée à l'ébullition par un excès de carbonate de chaux ou de carbonate de magnésie. Dans ces conditions le fer se précipite seul. On décante la liqueur et l'on précipite le protoxyde de nickel par un lait de magnésie. On évapore la liqueur à sec et l'on traite le résidu par la vapeur d'eau surchauffée. On obtient ainsi de l'acide chlorhydrique et de grandes quantités de magnésie. Si l'on obtient trop de magnésie, on peut l'employer à la fabrication de briques très-réfractaires.

Procédé Kamienski. — On attaque le minerai par de l'acide chlorhydrique étendu de deux fois son poids d'eau; on peroxyde le fer par un courant de chlore et on le pré-

cipite par du carbonate de magnésie dont nous indiquerons plus loin la provenance. On décante et l'on traite la liqueur par du carbonate de soude à chaud. On a un précipité de carbonate de nickel qui est presque complet et qui n'entraîne presque pas de carbonate de magnésie. Ce précipité, lavé, séché et calciné dans un creuset avec du charbon, donne du nickel sous forme d'éponge. La liqueur est traitée ensuite par du carbonate de soude à froid. On a un précipité de carbonate de magnésie qui entraîne ce qui restait de nickel dans la liqueur : c'est ce précipité dont nous avons indiqué plus haut l'emploi. La liqueur contient à ce moment des chlorures de sodium et de magnésium. On fait déposer le premier par une légère évaporation, puis on chauffe le résidu dans une cornue à 150° avec un jet de vapeur d'eau, de façon à régénérer l'acide chlorhydrique.

Procédé Araud. — Le minerai pulvérisé est tamisé au-dessus d'un récipient en bois qui contient de l'acide chlorhydrique, de façon à obtenir une pâte liquide que l'on charge dans des baquets rectangulaires en grès tapissés intérieurement de papier. On emploie ainsi 100 kilog. d'acide pour 29 kilog. de nickel ou de fer. Les baquets en grès sont chargés dans une cornue en terre réfractaire que l'on chauffe comme les cornues à gaz : les chlorures distillent et sont condensés. On les expose à l'air et on les dissout dans l'eau, puis on précipite successivement le fer par du carbonate de chaux et le nickel par un lait de chaux. Le protoxyde de nickel est calciné avec du charbon dans des creusets ou des cornues verticales en terre réfractaire ou en plombagine.

1^{er} Procédé Sebillot. — On attaque le minerai par de l'acide sulfurique et du sulfate d'ammoniaque et l'on reprend par l'eau. En faisant cristalliser à un certain degré de concentration, on obtient à l'état de cristaux tout le sulfate de nickel et une partie du sulfate de magnésie. On

peut calciner les cristaux à 100° et obtenir ainsi un produit anhydre, jaune paille, et de composition fixe. On peut aussi redissoudre les cristaux et précipiter le nickel.

2° *Procédé Sebillot*. — On calcine le minerai au réverbère avec de l'acide sulfurique, de façon à avoir une masse compacte de sulfates desséchés. On dissout dans l'eau, on précipite le fer par du chlorure et du carbonate de chaux, et la magnésie par du phosphate de soude. On fait ensuite cristalliser le sulfate de nickel ou bien on précipite le protoxyde de nickel par de l'eau de chaux.

On peut remplacer dans ce dernier procédé l'acide sulfurique par l'acide chlorhydrique.

CHAPITRE XIII.

PROCÉDÉS D'ANALYSE ET D'ESSAI DES MATIÈRES NICKELIFÈRES ET COBALTIFÈRES.

§ 1. — Analyse par voie humide.

I. *Méthode de Varallo*. — On prend 2 grammes de minerai ou de matte; on pulvérise et l'on attaque par l'eau régale. On précipite le cuivre par l'acide sulfhydrique et l'on évapore la liqueur à sec. On redissout le résidu dans quelques gouttes d'acide azotique et l'on précipite par du chlorure de chaux. On redissout le tout dans de l'acide acétique et l'on fait bouillir : le fer se précipite. On filtre, on ajoute un peu d'acide sulfurique et l'on précipite ensemble le nickel et le cobalt à l'état métallique par la pile de Bunsen. On ne fait pas la séparation des deux métaux. Cette analyse dure cinq jours.

II. *Méthode de Scopello*. — On prend 2 grammes de matte, qu'on dissout dans de l'acide chlorhydrique auquel

on ajoute à la fin un peu d'acide azotique. On précipite le cuivre par l'hydrogène sulfuré, on filtre et on lave. Le précipité de Cu_2S est grillé dans une capsule de platine et redissous dans l'acide azotique. On filtre et l'on précipite l'oxyde de cuivre par la potasse à l'ébullition. La liqueur de nickel, cobalt et fer est portée à l'ébullition avec quelques gouttes d'acide azotique. Après refroidissement on neutralise la liqueur presque complètement par de l'ammoniaque, on étend de beaucoup d'eau, on ajoute de l'acétate de soude ou d'ammoniaque et l'on porte la liqueur à l'ébullition. Il se fait un précipité qui contient tout le fer et une partie du nickel. On filtre et dans la liqueur claire on précipite le nickel et le cobalt par la potasse. On lave à l'eau chaude, on calcine et on lave encore à l'eau chaude. On pèse l'ensemble des deux oxydes. Si l'on veut plus d'exactitude, on réduit par l'hydrogène.

§ 2. — Essai par voie sèche.

Méthode de Varallo. — On fond 5 grammes de minerai avec du borax, du carbonate de soude et de l'arsenic métallique. On obtient un speiss qu'on essaye au chalumeau en faisant une perle avec du borax.

On peut faire par cette méthode cinq essais par jour.

Méthode de Dobsina. — On fait à Dobsina des essais fréquents des minerais de nickel et des speiss. La prise d'essai est de 2^{gr} $\frac{1}{2}$, et le poids de 2^{gr} $\frac{1}{2}$ est marqué 100. On emploie comme fondant du flux noir fabriqué avec deux parties de salpêtre et 5 de crème de tartre. La matière est d'abord pulvérisée et grillée au moufle à 5 ou 6 feux dont chacun dure une demi-heure. Ce grillage se fait dans de petites soucoupes en terre réfractaire de 4 centimètres de diamètre. On fond ensuite la matière grillée avec 50 p. 100 de flux noir dans des creusets en terre réfractaire qui ressemblent à des verres à vin de Champagne; 60 semblables

creusets sont chauffés ensemble dans un four à vent de 0^m,70 sur 0^m,50 et de 0^m,30 de profondeur. La fusion dure deux heures. On obtient un bouton de speiss que l'on pèse et qui présente la formule (Fe, Cu, Ni, Cu)⁴As. On met le bouton dans une soucoupe de terre réfractaire avec un peu de borax et l'on chauffe au moufle en donnant de petits mouvements pour faire partir les crasses. Le fer, le cobalt, le nickel et le cuivre se scorifient successivement, de sorte que les scories présentent les couleurs suivantes : noir, bleu, brun, vert bleuâtre. On interrompt cette opération un grand nombre de fois pour peser le bouton. Parmi ces pesées on en choisit trois qui correspondent, autant que possible, à la fin de la scorification du fer, à la fin de la scorification du cobalt, à la fin de la scorification du nickel. Cette dernière donne le poids de l'arséniure de cuivre Cu⁴As, et par différence on a le poids de l'arséniure de nickel Ni⁴As et de l'arséniure de cobalt Co⁴As. On multiplie les trois nombres obtenus respectivement par $\frac{71,3}{100}$, $\frac{61,1}{100}$, $\frac{61,2}{100}$, et l'on a ainsi le poids du cuivre, du nickel et du cobalt.

§ 3. — Essai au chalumeau pratiqué à Scopello.

Le chimiste de l'usine de Scopello fait avec beaucoup d'habileté l'essai quantitatif des mattes au chalumeau, en n'opérant que sur un décigramme de matière pulvérisée.

On emploie comme fondant un flux arsenical formé d'un mélange à volumes à peu près égaux des matières suivantes : arsenic, cyanure de potassium, carbonate de soude, borax fondu, charbon de bois pilé fin. On prend une feuille de papier à cigarettes, préalablement trempée dans une dissolution concentrée de soude, et l'on en fait une petite cartouche au moyen d'un petit manche en bois. On brûle dans la lampe un mélange, par parties égales, d'esprit-de-vin à 95 p. 100 et d'essence de térébenthine rectifiée.

Quand on a affaire à des matières riches en soufre ou en cuivre, on commence par les griller dans un petit creuset de charbon. Pour préparer ce petit creuset de charbon, on emploie du charbon de bois de pin sylvestre taillé sous forme de parallépipèdes de 0^m,15 de long et de 0^m,02 sur 0^m,05 de section. On y taille de petites cavités hémisphériques de 0^m,02 de diamètre. La matière à griller est placée dans ce petit creuset et on l'y soumet à une douce chaleur. De temps en temps on l'écrase et on la retourne.

Première opération. — On mélange 2 volumes de la poudre crue ou grillée avec 3 volumes de flux arsenical et l'on met le tout dans la cartouche de papier, on ferme celle-ci et l'on nettoie avec la cartouche fermée le mortier d'agate où s'est fait le mélange de la poudre et du flux. On place alors la cartouche dans un petit creuset de charbon préparé comme il a été dit plus haut. En tenant le charbon de la main gauche au moyen d'une pince et le chalumeau de la main droite, on envoie sur la cartouche de papier la pointe de la flamme intérieure du chalumeau. Le papier se brûle, la masse se fond, le charbon et le cyanure de potassium réduisent le nickel, qui apparaît d'abord sous la forme d'une éponge métallique au milieu de la masse. Puis le nickel s'unit à l'arsenic et donne un speiss qui se concentre sous forme d'une petite perle. Cette opération dure 1 minute et demie. On laisse un instant refroidir et avec une pince, avant que le borax ne soit solidifié, on saisit la perle de speiss. On la trempe dans l'eau et on la regarde à la loupe. Quand le speiss est exempt de cuivre, la perle est ronde, mais quand il en contient la perle présente des facettes comme un cristal de grenat.

Deuxième opération. — On met cette perle de speiss avec du borax dans un second creuset de charbon et l'on envoie dessus le milieu de la flamme extérieure du chalumeau. Le fer se brûle, l'arsenic se volatilise en partie à l'état d'acide arsénieux et reste en partie dans la scorie à

l'état d'arséniate de fer. Tant qu'il y a du fer dans la perle, elle fume et se couvre d'une croûte brunâtre de scories ferrugineuses. Quand on juge l'opération terminée, on prend la perle de la même manière que la première fois et on la pèse. Comme vérification, on refond le speiss avec du borax : le borax doit rester blanc et la perle ne pas perdre de poids. Théoriquement le speiss formé devrait présenter la formule M^*As , qui correspond à une teneur de 61,7 p. 100 en nickel et cobalt. En fait, on perd un peu de cobalt, mais on laisse un léger excès d'arsenic. L'expérience a montré que, pour avoir la teneur en nickel et cobalt, il fallait prendre les 60 p. 100 du poids de la perle.

La perle de speiss est pesée au moyen d'une petite balance romaine dont le curseur pèse 1 décigramme et dont le bras de levier porte une graduation qui donne directement la teneur de la matière essayée en nickel et cobalt. On a aussi essayé de remplacer la pesée de la perle de speiss par la mesure de son diamètre au moyen d'une règle où sont gravés deux traits faisant un angle. Cette règle est munie d'une graduation qui donne en chaque point l'écartement des deux traits, le poids de la perle de speiss qu'on peut y placer et la teneur pour 100 qui en résulte pour la matière essayée.

Cet essai ne dure en tout qu'un quart d'heure et donne la teneur en nickel et cobalt à $\frac{1}{2}$ p. 100 près, pourvu que l'opérateur ait acquis une grande habitude du procédé. Grâce à cet essai, on peut suivre à chaque instant la marche des fours à manche et faire varier en conséquence la composition des lits de fusion.

TABLE DES MATIÈRES.

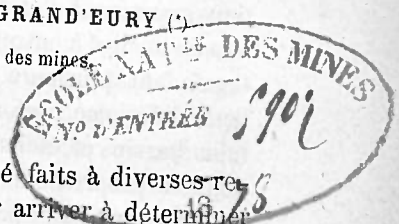
	Pages.
INTRODUCTION. SOURCE DES RENSEIGNEMENTS.	237
CHAPITRE I ^{er} . MINÉRAUX DU NICKEL :	241
Minéraux sulfurés.	241
Minéraux arséniés.	241
Minéraux oxydés.	244
CHAPITRE II. MINÉRAIS DU NICKEL.	245
Pyrite nickelifère.	245
Minéral arsenical.	247
Hydrosilicate.	250
CHAPITRE III. CONCENTRATION DES MINÉRAIS SULFURÉS A L'ÉTAT DE MATTE.	250
Théorie de l'opération.	250
Exemples : Usine de la Sesia, près Varallo (1876).	251
Usine de Scopello.	258
Usine de Sâgmyra (1876).	260
CHAPITRE IV. CONCENTRATION DES MINÉRAIS ARSENICAUX A L'ÉTAT DE SPEISS.	264
Théorie de l'opération.	264
Exemples : Usine de Schladming (1867).	267
Usine de Schladming (1860).	270
Usine de Leogang (1867).	272
Usine de Georges, à Dobsina (1876).	273
Usine de Losoncz (1876).	277
CHAPITRE V. FORMATION DE SPEISS AU MOYEN DE MINÉRAIS COMPLEXES.	280
Théorie de l'opération.	280
Exemples : Usine de Brixlegg (1876).	281
Usine de Freyberg.	282
Usine de Georges, à Dobsina (1867).	282
Usine du Phénix, à Dobsina (1867).	284
Usine de Kaafjord.	285
Usine de (?), en Saxe.	285
CHAPITRE VI. TRAITEMENT DES MATTES OU DES SPEISS PAR VOIE SÈCHE.	286
Théorie de l'opération.	286
Exemples : Usine de Sâgmyra (1876).	288
Usine de Victoria, à Namburg (1876).	289
Usine de Georges, à Dobsina (1867).	289
Usine de Schladming (1860).	290
Usine de Schladming (1867).	290
Usine de Leogang (1867).	294

	Pages.
CHAPITRE VII. TRAITEMENT DES MATTES OU DES SPEISS PAR VOIE HUMIDE.	296
Théorie de l'opération.	296
Exemples : Usine de Scopello (1876).	296
Usine d'Oberschlema (1876).	300
Usine de Georges, à Dobsina (1876).	301
Usine de Saint-Benoît, à Liège.	302
CHAPITRE VIII. FABRICATION DES VERRES BLEUS DE COBALT.	303
CHAPITRE IX. FABRICATION DES CUBES DE NICKEL.	304
Théorie de l'opération.	304
Exemples : Usine de Scopello (1876).	305
Usine de Schladming (1860).	306
Usine de Schladming (1867).	307
Usine de Georges, à Dobsina (1876).	308
CHAPITRE X. ALLIAGES DE NICKEL.	308
Composition de ces alliages.	308
Fabrication de ces alliages.	310
Préparation directe de ces alliages.	311
Laminage de ces alliages.	312
CHAPITRE XI. RÉSULTATS ÉCONOMIQUES DE LA MÉTALLURGIE DU NICKEL.	312
Considérations générales.	312
Renseignements spéciaux : Usine de la Sesia.	315
Usine de Scopello.	316
Usine de Schladming.	318
CHAPITRE XII. MINÉRAIS NÉO-CALÉDONIENS.	319
Considérations générales.	319
Réduction de ces minerais par le charbon.	322
Réduction de ces minerais par le soufre ou l'arsenic.	326
Traitement par la voie mixte.	328
Traitement par la voie humide.	330
CHAPITRE XIII. PROCÉDÉS D'ANALYSE ET D'ESSAI.	334
Analyse par voie humide.	334
Essai par voie sèche.	335
Essai quantitatif au chalumeau.	336

DÉTERMINATION DES ÉTAGES HOUILLERS A L'AIDE DE LA FLORE FOSSILE.

RÉSUMÉ DES TRAVAUX DE M. GRAND'EURY (*)

Par M. R. ZEILLER, ingénieur des mines.



Des essais assez nombreux ont été faits à diverses reprises et dans diverses régions, pour arriver à déterminer les caractères de la flore des étages successifs du terrain houiller et pour les appliquer à la reconnaissance des niveaux des couches rencontrées dans l'exploitation. Il est à peine utile de rappeler, entre autres, les travaux classiques de M. Geinitz sur les zones de végétation du bassin houiller de la Saxe (**). Mais ces études n'ayant pas porté sur l'ensemble des formations houillères, les résultats qu'elles ont donnés ne pouvaient avoir qu'une valeur et une utilité locales, et l'on était exposé à de sérieux mécomptes quand on en voulait tenter l'application sur d'autres bassins.

(*) Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des sciences de l'Institut de France, t. XXIV, 1877. *Flore carbonifère du département de la Loire et du centre de la France*, par F. Cyrille Grand'Eury, ingénieur à Saint-Étienne. — Le travail de M. Grand'Eury avait été présenté par lui à l'Académie des sciences et soumis à l'examen d'une commission composée de MM. Daubrée, Tulasne, et Brongniart, rapporteur. Le rapport de M. Brongniart, inséré aux *Comptes rendus* de la séance du 12 août 1872, concluait à l'insertion *in extenso* dans les *Mémoires des savants étrangers*, qui fut votée par l'Académie; mais de 1872 à 1875, M. Grand'Eury a complété son travail par de nouvelles découvertes, de telle façon qu'il n'a paru qu'au commencement de 1877; à peine publié, il recevait l'une des médailles d'or décernées à la *Réunion générale des sociétés savantes*, le 7 avril 1877.

(**) Geinitz. *Geognostische Darstellung der Steinkohlen-Formation in Sachsen*. 1856.

Il est juste de remarquer, d'ailleurs, que nulle part le terrain houiller n'existe sur un même point dans son entier développement; la partie supérieure ne se montre bien au complet que dans le centre de la France, et les échantillons de plantes de cette région étant peu répandus dans les collections, surtout à l'étranger, les études d'ensemble étaient assez difficiles à entreprendre, au moins hors de notre pays. Cependant plusieurs paléontologistes avaient été frappés de la différence profonde qui existe entre les flores de certains bassins et étaient arrivés à reconnaître dans le terrain houiller proprement dit deux groupes bien distincts et faciles à caractériser par les plantes. Nous avons été conduit nous-même à ce résultat par l'étude des collections de l'École des mines, qui renferment, outre un grand nombre de plantes françaises de diverses provenances, une quantité notable d'empreintes des terrains houillers d'Allemagne, particulièrement d'Eschweiler et de Sarrebruck. En examinant la belle collection de plantes du bassin du Nord, recueillie par M. l'inspecteur général du Souich, nous avons trouvé la flore de ce bassin, nous ne dirons pas seulement analogue, mais identique à celle d'Eschweiler, tandis que la flore d'Alais, Carmaux, Saint-Étienne, Decize, Commeny, Decazeville, se montrait complètement différente et accusait sur certains points, par exemple à Decazeville, un passage graduel à celle du terrain permien. Cette division en deux grands étages résultant de la différence des flores nous avait été confirmée, du reste, par M. D. Stur, le savant paléontologiste de l'Institut géologique de Vienne, qui, dans une visite à l'École des mines, nous avait dit avoir reconnu dans la flore houillère l'existence de ces deux époques bien caractérisées.

Mais il était nécessaire, pour lever tous les doutes, d'asseoir cette division du terrain houiller, basée sur les différences de flore, sur un plus grand nombre d'observations, et d'en vérifier l'exactitude par l'examen des documents

fournis par tous les bassins en exploitation. C'est ce que vient de faire M. Grand'Eury, dans un ouvrage destiné à devenir classique, où il donne le résultat des études poursuivies par lui pendant plus de douze années sur les plantes houillères du plateau central de la France, et sur la comparaison des flores des différents bassins connus, qu'il a étudiées, soit sur les lieux, soit dans les riches collections recueillies au Muséum par le regretté M. Ad. Brongnart. M. Grand'Eury est arrivé, de son côté, à la même division paléontologique du terrain houiller proprement dit en deux grands étages aussi nettement caractérisés que possible par la différence complète de leurs flores, qu'il a reconnues partout parfaitement constantes, à ce point qu'il suffit, comme nous avons bien cru le constater, d'un petit nombre d'empreintes indiquant certaines associations d'espèces pour déterminer avec certitude auquel de ces deux étages appartient une formation.

Si nous avons parlé ici des résultats de nos recherches personnelles, ce n'est pas avec la pensée de les mettre en parallèle avec les études si prolongées et si importantes de M. Grand'Eury, c'est uniquement pour montrer que les caractères des deux membres principaux du terrain houiller sont assez nets et assez saillants pour se révéler rapidement et pour être appréciés d'une manière absolument identique par des observateurs différents. Ils sont donc de nature à être facilement utilisés et il suffirait, pour s'en servir avec fruit, de connaître un nombre relativement restreint d'empreintes, en se bornant aux espèces les plus abondantes et les plus significatives.

Mais il n'en est plus de même quand on veut subdiviser ces grands étages en groupes secondaires et surtout quand on désire arriver au raccordement des diverses parties des couches d'un même bassin. Il faut alors descendre de plus en plus dans le détail, les différences de flore devenant na-

tuellement de moins en moins sensibles, à mesure que les périodes de formation se rapprochent, et ne pouvant plus être discernées que lorsqu'on connaît dans tout son ensemble la végétation des divers niveaux qu'on examine. Ce ne sont plus seulement des différences spécifiques qu'il s'agit d'apprécier, c'est le degré d'abondance et le mode d'association des diverses espèces : il faut pour cela des études sur les lieux, et des études longues et patientes. La difficulté n'est cependant pas insurmontable, et les résultats obtenus par M. Grand'Eury en sont la preuve convaincante : il est arrivé à distinguer dans le terrain houiller supérieur un certain nombre de sous-étages et à caractériser chacun d'eux par la nature de sa végétation, de manière à permettre de les reconnaître ensuite séparément et à fixer ainsi avec précision l'âge relatif de tous les bassins du centre et du midi de la France. Enfin, poussant plus loin l'application de la même étude, il a cherché à reconnaître dans le bassin de Saint-Étienne la correspondance des groupes de couches et des couches isolées divisées en lambeaux indépendants par les cassures et les plissements du terrain.

Mais, si grande qu'elle soit, l'importance de ces résultats stratigraphiques est peut-être dépassée encore par celle des résultats botaniques qu'il a obtenus. Les plantes fossiles ne se rencontrent guère que par fragments isolés, des tiges séparées de leurs organes foliaires, des graines ou des épis de fructification détachés des plantes qui les avaient portés, de sorte qu'il a fallu d'abord, faute de mieux, classer à part chaque genre de débris, en attendant que d'heureuses découvertes permissent de rattacher les unes aux autres les différentes parties d'une même espèce. C'est vers ce but qu'ont tendu les efforts de M. Grand'Eury, et il l'a atteint pour un grand nombre de plantes, à force de prolonger ses observations, en suivant patiemment de proche en proche, dans les mines ou dans les carrières de grès

des environs de Saint-Étienne, l'avancement des exploitations. Il a su, en outre, découvrir dans le conglomérat qui sépare le système de Rive-de-Gier de celui de Saint-Étienne un horizon quartzéux, renfermant soit en place, soit sous forme de galets roulés, des quartz geysériens riches en débris de plantes silicifiées. L'étude microscopique de ces plantes, examinées en plaques minces, a fourni à M. Brongniart, à M. B. Renault et à lui les plus précieux renseignements.

Nous devons donc, avant de rendre compte de la partie géologique de l'ouvrage, résumer la partie botanique et les principaux résultats qui y sont exposés. Nous indiquerons ensuite les grandes divisions paléontologiques de la formation carbonifère et leurs caractères principaux ; nous passerons en revue les différents bassins houillers, en faisant connaître à quels niveaux ils appartiennent ; nous examinerons avec plus de détail ceux du centre et du midi de la France, après avoir donné la liste et la caractéristique des différents étages distingués par M. Grand'Eury dans le terrain houiller supérieur de notre pays, et nous terminerons par l'exposé succinct de la classification spéciale des couches du bassin houiller de la Loire.

I. — PARTIE BOTANIQUE.

Calamariées. — Tout le monde connaît le genre *Calamites*, abondamment répandu dans les formations houillères et constitué par des tiges articulées, sillonnées de côtes plus ou moins larges, alternant d'un entre-nœud à l'autre. Il a donné lieu à des discussions nombreuses, à cause de l'existence de tiges ligneuses présentant à peu près les mêmes caractères extérieurs. M. Brongniart l'avait regardé comme allié de très-près aux *Equisetum*, et il avait séparé ces tiges ligneuses sous le nom de *Calamodendron*. Les observations de M. Grand'Eury ont entièrement confirmé cette

manière de voir et ont montré que les *Calamites* avaient en somme plus d'analogies avec les *Equisetum* qu'avec aucun autre genre vivant. C'étaient aussi des tiges fistuleuses, cloisonnées, naissant de minces rhizômes rampants, articulés comme les tiges et émettant de fines racines à leurs articulations. Seulement, elles étaient dépourvues de gaines et ne portaient aucune sorte d'organes foliaires. Quelques espèces même, telles que les *C. Suckowii* et *C. canxiformis* étaient habituellement dépourvues de rameaux et n'avaient que des tiges simples, hautes de 4 à 5 mètres, et terminées en pointe vers le sommet. Les organes appendiculaires n'étaient représentés que par les tubercules saillants placés au haut des côtes, mais sur lesquels on ne constate aucune cicatrice. D'autres espèces, au contraire, comme le *C. ramosus*, étaient fréquemment ramifiées et portent à presque toutes leurs jointures des cicatrices raméales. Enfin, les organes de reproduction étaient de petits chatons naissant probablement vers le sommet des tiges et dont l'organisation n'est pas encore bien connue.

A côté des *Calamites*, se placent les *Astérophyllites*, ou du moins les espèces véritablement cryptogames du genre *Astérophyllites*, d'autres devant être séparées de ce groupe et rattachées aux *Calamodendron*, c'est-à-dire à l'embranchement des phanérogames gymnospermes. Les *Astérophyllites* avaient des tiges articulées (*Calamophyllites* Grand'Eury), à articles de longueur variable, lisses ou striées, et portant aux articulations des verticilles de feuilles et de rameaux; les *Volkmania* étaient leurs épis de fructification.

M. Grand'Eury en rapproche une partie des *Annularia*, notamment l'*A. radiata*, qui ne lui paraît pas appartenir au même groupe que les *A. longifolia* et *A. sphenophylloïdes*. Ceux-ci étaient des plantes nageantes, munies d'épis fructifères qu'on a désignés sous le nom de *Bruck-*

mannia, et dont les travaux de M. Grand'Eury et de M. B. Renault (*) ont fait connaître en détail la curieuse organisation; ils auraient eu pour racines les *Pinnularia*.

Enfin les *Sphenophyllum* forment encore un autre groupe, en raison du mode d'attache de leurs sporanges qui paraissent fixés sur les bractées mêmes des épis et non plus sur des supports spéciaux: leurs tiges avaient aussi une organisation toute particulière, munies d'un faisceau vasculaire présentant en coupe la forme d'un triangle à côtés curvilignes concaves vers l'extérieur (**).

Fougères. — La découverte d'un grand nombre de pinules de fougères fructifiées, soit en empreintes, soit conservées dans les quartz de Grand'Croix ou d'Autun, a permis à M. Grand'Eury d'établir sur des bases certaines la classification de la plupart des fougères du terrain houiller supérieur et de déterminer la place qu'elles doivent occuper par rapport aux types actuellement vivants.

Le premier groupe qu'il forme, celui des Hétéroptéridées, comprend les *Sphenopteris*, assez peu abondants à Saint-Étienne, puis les *Pecopteris* dits *dicksonioïdes* et *anémioides* à cause de leurs analogies de forme et de nervation avec les genres vivants *Dicksonia* et *Anemia*, et sur lesquels il a reconnu des fructifications analogues à celles des Schizéacées; l'espèce la plus répandue parmi eux est le *P. Pluckenetii* Schlotheim (sp.). Il y rattache aussi, comme voisins des Schizéacées, et sous le nom de *Pre-pecopteris*, les *Pecopteris* du type des *P. dentata*, *Biotii*, etc., auxquels il rapporte les folioles fructifiées décrites par Corda sous le nom de *Senftenbergia*. Toutes ces fougères paraissent avoir été herbacées et ne pas avoir atteint la taille gigantesque de celles des deux autres groupes.

(*) *Annales des sciences naturelles*, 6^e série, Botanique, t. III, p. 8.

(**) B. Renault, *Annales des sciences naturelles*, 5^e série, Botanique, t. XVIII.

Le second groupe, des Pécoptéridées arborescentes, appartient tout entier à la famille des Marattiacées, qui n'est plus représentée aujourd'hui que par quelques genres tropicaux; il présente en effet, avec des formes voisines des Cyathéacées, des fructifications composées de capsules coriaces dépourvues d'anneau élastique et soudées entre elles par groupes de trois à cinq, normaux au limbe des folioles.

La première section de ce groupe renferme les *Pecopteris* du type du *P. arborescens*; la seconde, ceux du type du *P. polymorpha*, désignés par M. Brongniart sous le nom de *Pecopteris névroptéroïdes*, et qui, peut-être, n'étaient pas arborescents comme les premiers; enfin une troisième section comprend les *Goniopteris*, à pinnules soudées sur une partie de leur longueur. Les Pécoptéridées arborescentes avaient des troncs de 15 à 20 mètres de hauteur dont on retrouve les fragments, tantôt en empreintes et par fragments épars, tantôt en place. Les *Caulopteris* et les *Ptychopteris*, parmi lesquels il y a encore plusieurs espèces à décrire, en représentent la partie supérieure, avec les cicatrices pétiolaires bien nettes; dans la partie moyenne, que M. Grand'Eury nomme *Psaroniocaulon*, les cicatrices se dissimulent, au moins en partie, sous l'enveloppe radulaire; enfin les *Psaronius*, dans lesquels on reconnaît les traces de l'organisation interne et qui se trouvent, soit silicifiés, soit en place dans les grès et alors imparfaitement conservés, correspondent à la base des troncs, enveloppée d'une épaisse couche de radicules. La tige elle-même présente dans son organisation des caractères qui confirment les rapports de ces fougères avec les Marattiacées vivantes; quant aux radicules, tantôt elles naissent, comme dans la plupart des fougères arborescentes actuelles, à la surface du tronc, et descendent à l'extérieur en recouvrant les cicatrices; tantôt elles naissent sous l'écorce qu'elles ne tardaient pas à percer et à

faire éclater; tantôt enfin, elles demeuraient sous l'écorce qui se distendait au fur et à mesure, et formaient entre elle et l'axe vasculaire une zone de plus en plus épaisse.

Le troisième groupe est celui des Névroptéridées, présentant des formes toutes spéciales et un port gigantesque. Elles n'étaient pas arborescentes, mais leurs feuilles, irrégulièrement ramifiées, atteignaient, avec le pétiole, jusqu'à 10 mètres de longueur. M. Grand'Eury y distingue deux sections, les Aléthoptéridées et les Névroptéridées proprement dites. Les Aléthoptéridées comprennent les genres *Alethopteris*, *Lonchopteris* et *Callipteridium*, celui-ci formant le trait d'union avec la section suivante. Leurs fructifications n'ont jamais été rencontrées, mais il est probable qu'elles étaient formées de sporanges caducs, isolés à l'extrémité des nervures. Telles étaient, en tout cas, celles des Névroptéridées véritables, observées sur une pinnule d'*Odontopteris*. Le genre *Odontopteris* est celui par lequel cette section est le plus abondamment représentée dans le terrain houiller supérieur, les *Nevropteris* ne s'y montrant que rarement. L'un et l'autre ont ce caractère remarquable de présenter, à côté des feuilles normales, des feuilles stipales sessiles orbiculaires, entières ou découpées (*Cyclopteris*), telles qu'on n'en rencontre chez aucune espèce vivante. A la même section appartiennent les *Dictyopteris*, à nervation réticulée, à folioles caduques, et sans doute les *Teniopteris*, qu'on trouve plus communément dans le terrain permien. Les pétioles des Névroptéridées se retrouvent, comme les troncs des Pécoptéridées, soit en empreintes sous forme de larges stipes finement striés (*Aulacopteris* Grand'Eury), soit conservés dans les quartz geysériens avec tout le détail de leur organisation. Ils étaient connus depuis longtemps sous cette dernière forme et désignés sous le nom de *Medullosa*, mais on les avait pris pour des tiges, tantôt de Cycadées, tantôt de monocotylédones, tandis qu'en réalité ils présentent simplement, quoique avec

une complication et une perfection plus grandes, la structure des pétioles des *Angiopteris* (*) vivants. C'est donc encore aux Marattiacées que doivent se rattacher les Névroptéridées, qui avaient d'ailleurs, selon toute vraisemblance, le mode des végétation des *Marattia* et des *Angiopteris*.

Enfin, il faut sans doute placer encore dans la classe des Fougères les *Schizopteris* à frondes flabelliformes, souvent laciniées, et les *Doleropteris*, genre nouveau créé par M. Grand'Eury pour de grandes feuilles généralement simples, sessiles, à contour souvent cordiforme ou orbiculaire, et à nervation cycloptéroïde. Ces deux genres pourraient bien se rattacher aux Ophioglossées, comme les *Palzopteris* des terrains dévonien et carbonifère inférieur.

Les Polypodiacées, qui ont aujourd'hui la prépondérance, ne paraissent pas représentées dans le terrain houiller.

Sélaginées. — Les Sélaginées de l'époque houillère comprenaient à la fois des plantes herbacées, entièrement semblables à nos lycopodes (*Lycopodites*), et des végétaux arborescents, atteignant jusqu'à 30 mètres de hauteur, les *Lepidodendron*, les *Lepidophloios* et les *Halonia*. M. Grand'Eury, confirmant les observations de MM. Gœppert et Goldenberg, réunit les *Knorria* aux *Lepidodendron* comme n'étant que les moules sous-corticaux de ceux-ci. Les Sélaginées sont, du reste, peu abondantes à Saint-Étienne et n'ont pu donner lieu à beaucoup d'observations; mais il y fait rentrer sous le nom de *Pseudosigillaria* certaines espèces particulières de Sigillaires à coussinets foliaires décurrents, telles que les *S. striata* et *monostigma*.

Sigillarinées. — Ce grand groupe est de même faible-

(*) Académie des sciences, Mémoires des savants étrangers, t. XXII, n° 10. B. Renault. Étude du genre *Myelopteris*.

ment représenté dans le bassin de la Loire; M. Grand'Eury a pu cependant élucider à son égard quelques points importants. Ainsi, l'étude de troncs silicifiés du *Sigillaria spinulosa* (*) a confirmé M. B. Renault et lui dans la conviction, exprimée depuis longtemps par M. Brongniart à la suite de l'examen du *S. elegans*, que les Sigillaires étaient des végétaux phanérogames gymnospermes, se rapprochant dans une certaine mesure des Cycadées; ils auraient eu pour graines les *Trigonocarpus* et les *Polygonocarpus*, nouveau genre qui comprend, comme son nom l'indique, des graines polygones de formes diverses. Les *Stigmaria* sont, suivant toute probabilité, les racines des Sigillaires; mais, parmi elles, il faut distinguer d'autres souches à branches inégales, à cicatrices moins nettes, à radicules courtes, pour lesquelles M. Grand'Eury crée le genre *Stigmariopsis* et qu'il regarde comme les racines des *Syringodendron*, genre voisin, mais différent, des *Sigillaria*.

Graines fossiles. — Les phanérogames gymnospermes, dont l'existence dans le terrain houiller avait à diverses reprises été presque révoquée en doute, s'y sont montrées cependant extrêmement abondantes et variées, à en juger par les graines nombreuses découvertes dans les quartz de Grand-Croix et de la Péronnière et que M. Ad. Brongniart étudiait avec tant d'intérêt au moment où la mort est venue le frapper. Elles devaient être décrites par lui dans les plus grands détails, et il avait signalé dès 1874 à l'Académie des sciences les importants résultats qu'il avait obtenus (**), constatant l'existence de près de trente genres

(*) Académie des sciences, Mémoires des savants étrangers, t. XXII, n° 9. B. Renault et Grand'Eury. Étude du *Sigillaria spinulosa*.

(**) Comptes rendus de l'Académie des sciences, t. LXXIV, p. 343, 427 et 497. Études sur les graines fossiles trouvées à l'état silicifié dans le terrain houiller de Saint-Étienne, par M. Ad. Brongniart.

différents présentant des particularités de structure encore inconnues chez les plantes vivantes et qu'il ne devait pas tarder à retrouver, guidé par l'analogie, chez certaines Cycadées du Mexique. Tous ces Carpolithes sont, non pas des fruits, comme on l'avait cru souvent, mais de véritables graines de gymnospermes, atteignant parfois des dimensions énormes : ainsi les *Pachylesta*, qui ont jusqu'à 15 centimètres de longueur sur 5 centimètres de largeur. D'autres, les *Polypterocarpus*, sont munies sur leurs angles d'ailes saillantes régulières au nombre de trois, six ou douze; quelques-unes, les *Samaropsis*, sont bordées d'une aile plus ou moins développée qui les entoure complètement. Enfin, un grand nombre sont tout à fait lisses et de formes variables, les unes ovales, les autres cordiformes. Il fallait donc, pour correspondre à ces graines, une végétation phanérogamique très-développée, et l'on trouve en effet un grand nombre de feuilles et de branches qui doivent lui être rapportées.

Næggerathiées. — Nous commencerons par citer les Næggerathiées, maintenant réduites au seul genre *Næggerathia*, à feuilles pinnées, à folioles finement nerviées, qui n'ont été rencontrés que rarement et qui semblent, par leurs caractères extérieurs, devoir être rapprochés des Cycadées.

Cordaitées. — M. Grand'Eury a reconnu que c'était aux Cordaitées qu'appartenaient la plupart des feuilles à nervures parallèles, anciennement classées comme *Næggerathia*, et il est arrivé à une connaissance complète de cette importante tribu, qu'il rattache à la classe des Conifères et place près des Taxinées.

Les *Cordaites* véritables étaient de grands arbres atteignant jusqu'à 40 mètres de hauteur et ne se ramifiant que vers le sommet. Les feuilles étaient allongées, obtuses, plus ou moins spatulées; leurs dimensions variaient suivant les espèces, allant dans quelques-unes jusqu'à

de longueur; elles se contractaient à la base et laissaient en tombant des cicatrices plus larges que hautes, souvent arquées vers le bas et légèrement décurrentes. Les inflorescences mâles et femelles ont été retrouvées à l'état d'empreintes, sous forme d'épis portant soit des épillets mâles, soit de jeunes graines, affectant en général une disposition distique. Les fleurs se rencontrent aussi dans les quartz de Grand-Croix, et M. B. Renault a pu étudier au microscope les détails de leur organisation (*), reconnaître la forme et le mode de division des grains de pollen et trouver même ces grains encore engagés dans le micropyle des jeunes graines qu'ils allaient féconder. Les graines mûres se montrent pour la plupart orbiculaires ou cordiformes. Elles avaient été décrites jusqu'ici sous le nom de *Cardiocarpus*; mais M. Grand'Eury leur applique désormais le nom de *Cordaicarpus*, proposé par M. Geinitz pour indiquer leur dépendance. L'écorce et le bois ont été trouvés également à divers degrés de conservation : le bois présente les caractères des bois de Conifères, avec des fibres marquées de ponctuations disposées en séries alternes, comme dans les Araucariées, mais il diffère des bois vivants par sa tendance à avoir des rayons médullaires composés; c'est ce que l'on connaissait sous le nom de *Dadoxylon*. En outre, on constate dans les tiges l'existence d'un étui médullaire extrêmement volumineux, coupé de nombreux diaphragmes de moelle; ce sont les moules de ces étuis que l'on a décrits sous le nom d'*Artisia* et sur l'attribution desquels on était resté longtemps dans l'incertitude, prenant les sillons transversaux correspondant aux diaphragmes pour des cicatrices de feuilles amplexicaules.

Enfin M. Grand'Eury a trouvé fréquemment en place les bouches des *Cordaites*, terminées par de grosses racines

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXIV, p. 782, *Fleurs mâles des Cordaites*, et p. 1328, *Fleurs femelles des Cordaites*, par M. B. Renault.

rameuses étalées, comme celles de beaucoup de Conifères. Il a ainsi reconstitué dans leur ensemble ces grands végétaux, qui formaient un des traits caractéristiques de la végétation houillère et qui ont pris une part importante à la formation des couches de charbon.

A côté des vrais *Cordaïtes*, il a distingué deux autres formes, les *Poa-Cordaïtes* à longues feuilles linéaires, et les *Dory-Cordaïtes* à feuilles lancéolées aiguës; ce dernier genre semble différer notablement des *Cordaïtes* et devoir former un groupe à part, plus voisin des Cupressinées : il avait notamment des inflorescences toutes spéciales, portant des graines, non plus cordiformes, mais allongées, aiguës au sommet et pourvues d'ailes latérales, les *Samaropsis*.

Conifères. — A la suite des Cordaïtes il faut citer encore, comme appartenant aux Conifères, et peut-être à la tribu des Taxinées, des arbres ou plutôt des arbustes à feuilles linéaires une ou deux fois bifurquées, légèrement décurrentes à la base sur les rameaux qui les portaient. On n'avait encore jamais signalé ce genre de plantes, auquel M. Grand'Eury a donné le nom de *Dicranophyllum* et qui semble avoir quelques analogies avec les *Gingko*.

Enfin on trouve aussi dans le terrain houiller supérieur des débris du genre *Walchia*, que l'on regardait comme caractéristique du permien; les empreintes les plus fréquentes appartiennent au *W. piniformis* Schlotheim (sp.), ou du moins semblent appartenir à cette espèce; mais M. Grand'Eury a été amené récemment à penser qu'elles pourraient bien constituer une espèce spéciale, distincte des *Walchia* permien. Ceux-ci paraissent, en effet, d'après les empreintes de Lodève, avoir eu de véritables cônes, tandis que les espèces houillères auraient porté leurs graines sur des rameaux non modifiés. Mais, au point de vue des organes de végétation, la ressemblance est absolue entre les *Walchia* de Saint-Étienne et les vrais *W. piniformis*.

Calamodendrées. — Nous avons indiqué déjà l'existence de tiges ligneuses à forme calamitoïde, que M. Bronniart avait séparées des Calamites véritables. On les trouve abondamment vers le sommet du terrain houiller, et elles ont été l'objet de nombreuses observations de la part de M. Grand'Eury et de M. B. Renault (*). Elles ont en général un large étui médullaire, entouré de faisceaux ligneux à section cunéiforme, séparés par du tissu médullaire. La nature du corps ligneux a conduit M. Gœppert à y distinguer deux genres, les *Arthropitus* qui n'ont que des fibres vasculaires et les *Calamodendron* qui ont des fibres libériennes et des fibres vasculaires. Il paraît impossible d'admettre que ces tiges soient celles de végétaux cryptogames, comme le voudrait M. Williamson, qui les rapporte aux Calamites. Aux raisons puissantes tirées de l'organisation des troncs, M. Grand'Eury ajoute la découverte de leurs racines ligneuses partant par verticilles de la base des tiges et s'enfonçant verticalement dans le sol, et de leur écorce constituée par du tissu fibreux. Il est, en outre, amené par l'association constante de leurs débris à leur rapporter les *Polypterocarpus*, qui sont incontestablement des graines de gymnospermes. Les rameaux feuillés seraient représentés par les Astérophylites à feuilles coriaces dont les articles paraissent avoir été vraiment ligneux; ces rameaux devaient être caducs, car on trouve fréquemment les cicatrices raméales, disposées en quinconce, qu'ils laissent après leur chute; ce sont les empreintes de tiges pourvues de ces cicatrices qui constituent le *Calamites cruciatus*.

Les Calamodendrées devraient peut-être être rapprochées des Gnétacées, où l'on trouve précisément des végétaux ligneux présentant au premier aspect avec les *Equi-*

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séances des 4 et 11 septembre 1876.

setum la même ressemblance extérieure que l'on s'étonne de trouver entre les *Calamites* et les *Calamodendron*.

Considérations générales. — Un fait remarquable, et qui nous avait frappé, c'est de voir les divers types de plantes houillères montrer dès leur apparition une perfection d'organisation, supérieure en général aux plantes vivantes analogues. Parmi les fougères, les Pécoptéridées et les Névroptéridées doivent prendre le premier rang dans la famille des Marattiacées; il en est de même des *Lepidodendron* comparés à nos lycopes; les graines de gymnospermes étudiées par M. Brongniart ont une structure plus complexe que la plupart de celles que nous connaissons, et la même remarque s'applique aux bois de Conifères que l'on a examinés. Chaque famille a donc apparu avec l'ensemble de ses caractères, aussi parfaits que possible, et non par une série de transformations graduelles, comme le voudrait la théorie de l'évolution.

La constatation bien positive de la nature phanérogamique des *Calamodendrées* et les raisons de plus en plus nombreuses qu'on a maintenant pour classer de même les *Sigillarinées* ne permettent plus de regarder ces deux groupes de plantes comme établissant un lien entre les cryptogames vasculaires et les gymnospermes, et l'on doit en déduire que les grands embranchements du règne végétal étaient, dès cette époque de l'histoire de la terre, aussi tranchés qu'aujourd'hui.

Ajoutons que M. Grand'Eury a constaté la fixité complète de la plupart des espèces houillères qui, au moment de disparaître, s'étiolent et deviennent de plus en plus rares, mais n'accusent aucune tendance à changer de forme. Lorsqu'on trouve des variations, on les voit toujours limitées dans un cercle assez étroit, et d'ailleurs les formes qui sembleraient intermédiaires entre deux types ne se montrent souvent qu'en dernier lieu au lieu d'occuper

la place qu'elles devraient avoir si elles représentaient réellement une des phases de l'évolution. Il en est des groupes et des genres comme des espèces, ils restent indépendants les uns des autres et s'éteignent au lieu de se modifier peu à peu, si bien qu'on ne saurait trouver aucun lien entre la flore triasique et la flore houillère et permienne.

« Tous les faits sont donc », dit M. Grand'Eury, « en faveur de la création indépendante, et contraires à la transmutation. »

Les plantes houillères fournissent encore sur la nature du climat, d'une part, et, d'autre part, sur le mode de formation des couches de charbon, des renseignements fort intéressants. L'absence de zones d'accroissement dans les bois, la régularité parfaite de croissance de divers végétaux, des *Sigillaires*, par exemple, indique une invariabilité presque complète de la température et des divers facteurs météorologiques; mais le fait le plus saillant, c'est qu'aux latitudes les plus élevées où l'on soit parvenu, à l'île Melville et au Spitzberg, jusqu'au 80° parallèle, on retrouve la flore houillère parfaitement constante et uniforme, et il est difficile de croire, même en admettant une large influence de la chaleur centrale, que la végétation ait pu rester la même et conserver sa vigueur et son activité, avec des périodes de nuit de trois mois; la lumière diffuse qui aurait pu parvenir jusque-là, grâce aux abondantes vapeurs de l'atmosphère, n'aurait plus exercé une action chimique suffisante pour entretenir les phénomènes vitaux indispensables, et l'on est amené à penser que la lumière ne devait pas être répartie alors comme elle l'est aujourd'hui (*).

(*) Dans le voyage d'exploration de la *Discovery*, on a trouvé, sous le 82° parallèle, des empreintes de plantes miocènes attestant l'existence de forêts luxuriantes qui vivaient sous ces latitudes élevées à une époque pourtant relativement bien rapprochée de la nôtre, et pour laquelle il n'est plus possible d'invoquer l'in-

Quant à la façon dont se sont formés les dépôts houillers, M. Grand'Eury fait remarquer que tous les lits de charbon sont composés de tiges, d'écorces et de feuilles posées à plat, et qu'on n'y trouve jamais de plantes en place, les troncs debout qu'on rencontre au mur des couches dans les grès ou les schistes étant toujours nettement tranchés par le plan de la sole, et les souches du toit s'étalant au-dessus du charbon sans y pénétrer. Il combat donc la théorie de la formation sur place à la manière de la tourbe, et pense que les matériaux constitutifs de la houille ont dû être flottés et transportés, mais à très-courte distance, vu leur bon état de conservation. Les plantes qui ont formé le charbon étaient pour la plupart des végétaux aériens, et non aquatiques; ils pouvaient cependant avoir le pied dans l'eau, s'enracinant soit dans la vase, soit dans le sable, certaines espèces affectant une préférence pour l'un ou pour l'autre de ces deux sols. Ils devaient vivre ainsi, selon M. Grand'Eury, dans des eaux courantes, qui emportaient les tiges, les branches et les feuilles tombées sur des points où elles se déposaient et s'amoncelaient. Mais on ne saurait trouver à l'époque actuelle rien qui nous représente exactement ce qui se passait alors.

II. — PARTIE GÉOLOGIQUE.

Divisions du terrain houiller et caractères de leurs flores. — On a toujours distingué à la base du terrain houiller un étage spécial, qui tantôt lui a été rattaché, tantôt a été rattaché au terrain dévonien. Cet étage, désigné aussi sous le nom de terrain anthracifère, appartient plutôt par sa flore au terrain houiller, et M. Grand'Eury

fluence de la chaleur centrale et l'invariabilité des climats. (Voir à ce sujet un article intitulé *le Déplacement de l'axe des pôles*, par M. A. de Lapparent, dans la *Revue des questions scientifiques*.)

le désigne sous le nom de *terrain carbonifère inférieur*. Au-dessus vient le terrain houiller proprement dit, divisé, comme nous l'avons indiqué, en deux grands étages : le *terrain houiller moyen* et le *terrain houiller supérieur*.

Ces trois étages, bien caractérisés au point de vue botanique, le sont également, d'après M. Grand'Eury, aux points de vue stratigraphique et lithologique : le terrain carbonifère inférieur serait marqué par de nombreuses éruptions de porphyres et de sources siliceuses; ses roches, entremêlées de dépôts calcaires, sont souvent métamorphosées; le charbon s'y montre en couches minces, irrégulières, et il est le plus souvent anthraciteux.

Le terrain houiller moyen, qui semble correspondre à une époque de calme, se distingue par la régularité de ses strates, par le grand nombre de ses couches de charbon, peu épaisses, mais peu distantes les unes des autres.

Enfin, dans le terrain houiller supérieur, les roches sont de nature variable, souvent grossières, les couches de houille plus puissantes, mais irrégulières, moins nombreuses et à distances très-inégales; on y trouve fréquemment des intercalations de trapps et de dépôts de sources siliceuses (*).

Les terrains dévonien et permien ont aussi, du reste, leurs caractères pétrologiques particuliers. Nous ne dirons ici que peu de mots de leurs flores, mais nous en indiquerons en gros les caractères, comme encadrant la flore houillère dont nous avons à parler.

Terrain dévonien. — La flore du terrain dévonien, peu connue, présente des végétaux spéciaux, les *Psilophyton*, et à la partie supérieure quelques formes plus voisines des plantes carbonifères, des Sélaginées, les *Cyclostigma*, et des *Lepidodendron* chétifs, avec quelques *Sphenopteris* et *Palæopteris* particuliers; elle paraît subir aussi des

(*) Extrait d'une lettre de M. Grand'Eury.

changements assez importants, qui correspondraient aux trois étages géologiques établis dans ce terrain par Murchison.

Terrain carbonifère inférieur. — Le terrain carbonifère inférieur, qui lui fait suite, paraît devoir être divisé aussi en trois étages, savoir, de bas en haut, le calcaire carbonifère, le *culm* et la *grauwacke supérieure* (*jüngste grauwacke*). Il est caractérisé par un certain nombre de plantes, qui se montrent sur toute sa hauteur, notamment par les *Bornia transitionis*, *Lepidodendron Veltheimianum* et *tetragonum*, et *Sphenopteris elegans*.

Si l'on examine les différents étages, on trouve dans le calcaire carbonifère un certain nombre de *Sphenopteris*, communs avec la partie supérieure du terrain dévonien, et des *Palæopteris* nombreux, qui semblent avoir la prépondérance.

Les Sélaginées commencent à dominer dans l'étage du *culm*; les *Ulodendron* y font leur apparition; il y a en outre quelques fougères spéciales, comme le *Sphenopteris Schimperii*.

Dans la *grauwacke supérieure*, les Sélaginées, représentées par les genres *Lepidodendron*, *Ulodendron*, *Halonina*, deviennent tout à fait prépondérantes; on y trouve des *Stigmaria* avec quelques Sigillaires particulières, *Sigillaria undulata*, *Voltzii*, *venosa*, etc., déjà quelques Calamites, et une grande abondance de *Sphenopteris*, tels que *S. fridactylites*, *dissecta*, *bifida*, *schistorum*.

Terrain houiller moyen. — Le terrain houiller moyen peut être regardé comme caractérisé par l'abondance des *Nevropteris*, tels que le *N. heterophylla*, des *Alethopteris*, comme les *A. lonchitica* et *Serlii*, et des Sigillaires du groupe des *S. rhytidolepis*, c'est-à-dire des Sigillaires à côtes, marquées de cicatrices foliaires non contiguës, telles que les *S. elongata*, *scutellata*, *Cortesi*, etc. Il faut citer aussi, sans qu'elles soient prépondérantes, certaines

plantes bien caractéristiques, savoir: *Annularia radiata*, *Sphenophyllum saxifragæfolium*, *Sphenopteris irregularis*, *trifoliolata* et *furcata*, *Pecopteris nervosa* et *muricata*, *Lonchopteris rugosa*, *Lepidodendron obovatum* et *aculeatum*. Il suffit de l'association de quelques-unes de ces plantes pour permettre d'affirmer avec certitude qu'on a affaire au terrain houiller moyen.

La distinction des étages est plus délicate. M. Grand'Eury admet, entre le terrain houiller moyen et le carbonifère inférieur, une sorte d'étage de transition qu'il nomme *infra-houiller*, et qui serait caractérisé par un mélange des deux flores, composé des derniers végétaux du terrain carbonifère ancien avec les premières plantes vraiment houillères. Puis il fait, dans le houiller moyen, trois divisions: *étage sous-moyen*, *étage moyen proprement dit*, *étage supra-moyen*.

On trouve dans l'étage sous-moyen un grand nombre de Sélaginées: les *Ulodendron* notamment paraissent y avoir leur maximum, avec les espèces *U. punctatum*, *majus*, *minus*, etc.; les Sigillaires y sont déjà très-nombreuses, mais sans avoir encore la prépondérance qu'elles obtiendront dans l'étage moyen. Parmi les fougères on trouve encore, mais de plus en plus rares, les *Sphenopteris elegans* et *dissecta* du terrain inférieur; on peut citer comme communs, au contraire, les *Sph. latifolia* Brongniart et *acutifolia*.

L'étage moyen proprement dit est caractérisé, comme nous venons de l'indiquer, par l'abondance et la variété extrêmes des Sigillaires, par le développement du genre *Lepidophloios*, rare dans l'étage sous-moyen, ainsi que des *Sphenopteris anémioïdes*, des *Prepecopteris* (*P. pennsylvanica*, *dentata*, *plumosa*) et des *Nevropteris*. Les *Sphenophyllum* y sont aussi très-nombreux et variés. Les *Cordaites*, qui ont fait leur première apparition dans l'étage sous-moyen, commencent à devenir assez communs.

Enfin, dans l'étage supra-moyen, se montrent déjà quel-

ques espèces du terrain supérieur, telles que les *Annularia sphenophylloïdes*, *Sphenophyllum majus*, *Pecopteris Plucke-ncti*, *oreopteridia*, *arborescens*, *pteroïdes*, mais elles se trouvent mêlées aux plantes moyennes, parmi lesquelles les Sigillaires commencent à n'être plus dominantes; les *Prepecopteris*, au contraire, semblent arrivés ici à leur maximum.

Terrain houiller supérieur. — Le terrain houiller supérieur est caractérisé par l'abondance des *Pecopteris* vrais, comme les *P. arborescens*, *cyathea*, *Candolleana*, *polymorpha*, des *Odontopteris* remplaçant les *Nevropteris*, et par le développement des Cordaitées et des Calamodendrées. Nous citerons, comme espèces du terrain houiller supérieur, les *Annularia sphenophylloïdes* et *longifolia*, *Sphenophyllum oblongifolium*, *Macrostachya infundibuliformis*, *Odontopteris Reichiana* et *Brardii*, *Dictyopteris Schützei*, *Callipteridium ovatum*, *Caulopteris peltigera*, *Sigillaria Brardii*. Les *Nevropteris* sont devenus très-rares; les *Sphenopteris*, les *Lepidodendron* et les *Sigillaria* du groupe *rhytidolepis* ont presque entièrement disparu. On voit qu'il y a, entre la flore moyenne et la flore supérieure, des différences profondes, et nous croyons qu'il est impossible, avec un peu d'attention, de n'en pas être frappé et qu'il est facile de les utiliser dans la pratique.

Le terrain supérieur est divisé par M. Grand'Eury, comme le terrain moyen, en trois sous-étages, *étage sous-supérieur*, *étage supérieur proprement dit*, et *étage supra-houiller*.

L'étage sous-supérieur présente, comme l'étage supra-moyen, un certain mélange de plantes moyennes et de plantes supérieures, mais avec prédominance de celles-ci. On y trouve quelques rares *Annularia radiata* et *Sphenophyllum saxifragifolium*, associés aux *Annularia sphenophylloïdes*, déjà nombreux, et *A. longifolia*, l'*Alethopteris aquilina*, espèce moyenne, mêlée à l'*A. Grandini*, de l'étage

supérieur; les *Callipteridium*, qui n'existaient pas dans l'étage supra-moyen, font leur apparition, de même que les *Sigillaria Brardii*, *spinulosa*, *lepidodendrifolia*. Les *Pecopteris névroptéroïdes* commencent à devenir abondants, ainsi que les Cordaitées qui peuvent même arriver à être dominantes. Enfin le *Calamites cruciatus* indique la présence de quelques Calamodendrées.

Dans l'étage supérieur proprement dit, les espèces moyennes ont disparu, tandis que le *Sphenophyllum oblongifolium*, les *Pecopteris* du groupe du *P. arborescens*, les *Caulopteris*, les *Odontopteris*, deviennent extrêmement communs, avec les diverses plantes que nous avons citées tout à l'heure comme caractéristiques. Les *Walchia* se montrent déjà sur certains points.

L'étage supra-houiller se caractérise par la décroissance assez rapide des *Annularia*, *Sphenophyllum*, *Odontopteris*, par l'arrivée de quelques types permien, tels que le *Calamites gigas*, et par le développement des *Calamodendrées*. Il paraît, du reste, avoir quelques espèces à lui, le *Sphenophyllum Thonii*, par exemple, à très-grandes folioles laciniées sur le bord.

Terrain permien. — La flore permienne n'est que la continuation de la flore houillère, à ce point qu'il est souvent difficile de tracer entre les deux terrains une ligne de démarcation; elle possède cependant en propre quelques types étrangers au terrain houiller et notamment les vrais *Callipteris*, tels que le *C. conferta*; on peut citer encore, pour la caractériser, l'*Odontopteris obtusiloba*, plusieurs *Sphenopteris éremoptéroïdes*, comme le *S. Naumanni*, parmi lesquels on remarque souvent ce caractère spécial que les pinnules sont décurrentes sur le rachis; enfin les *Walchia* deviennent dominants, ils sont représentés par un grand nombre d'espèces, et en outre, comme nous l'avons dit, ils paraissent différer des *Walchia* houillers par la présence de véritables cônes.

Les caractères que nous venons d'indiquer sont plutôt ceux du rothliegende que ceux de la formation permienne prise dans son ensemble, car le zechstein, bien que renfermant encore quelques-unes de ces plantes, possède des types tout à fait spéciaux, tels que les *Ulmannia* et certains autres genres.

Les variations de la flore conduiraient à faire trois étages dans le rothliegende, l'étage inférieur renfermant encore quelques plantes houillères qui disparaissent complètement dans l'étage moyen.

Nous allons indiquer maintenant les âges des différents bassins houillers de l'Europe et de l'Amérique du Nord, en suivant l'ordre que nous venons d'indiquer, c'est-à-dire en commençant par le terrain carbonifère inférieur.

Bassins du terrain carbonifère inférieur.

L'étage du calcaire carbonifère existe en Écosse, avec celui du culm, auquel doivent sans doute être rapportées les plantes fossiles de Burdiehouse et de Burnt-Island; peut-être même arrive-t-on déjà, à East-Lothian, près d'Édimbourg, à la grauwacke supérieure.

On a indiqué les couches de charbon d'Hardinghen, dans le bas Boulonnais, comme faisant partie aussi du calcaire carbonifère, dans lequel elles sont enclavées; M. Grand'Eury, qui n'a vu que des plantes moyennes, ou tout au plus infra-houillères, de cette localité, admet cependant comme probable l'existence à Hardinghen de deux systèmes d'âges différents. Pour nous, nous ne connaissons de cette provenance que des plantes moyennes ou sous-moyennes, parmi lesquelles des *Cordaites*, et nous croyons, avec M. Gosselet (*), que c'est par suite d'un accident que les couches de houille se trouvent là au milieu du calcaire, et qu'elles ne peuvent en être contemporaines.

(*) *Bulletin de la Soc. géol.*, 5^e série, t. I, p. 409.

Le culm est représenté en Alsace, à Burbach, près de Thann, et les plantes caractéristiques de cet étage ont été retrouvées depuis dans les mêmes roches à Rougemont, près de Belfort (*). C'est à ce même étage qu'appartiennent les grès à anthracite du Roarnais et du Beaujolais, dans lesquels M. Grand'Eury a reconnu la flore du culm nettement caractérisée, avec des *Sphenopteris* identiques à ceux d'Altendorf et de Mohradorf, en Moravie. Enfin il faut indiquer encore son existence en Westphalie, dans le Nassau, la Hesse, au Hartz, en Silésie, et en Saxe (Hainichen, Ebersdorf, Berthelsdorf) où il comprend la première zone de M. Geinitz, à la suite de laquelle il y a une lacune qui va jusqu'au terrain houiller supra-moyen.

On reconnaît de même la flore de la grauwacke supérieure sur un grand nombre de points, où elle fait suite à celle du culm, ainsi en Silésie (Waldenburg), en Moravie et en Westphalie, dans les couches les plus profondes du bassin de la Ruhr, qui peuvent pourtant être plutôt infra-houillères. C'est à elle également que se rapportent les plantes de Berghaupten (grand-duché de Bade), qui se rapprochent aussi un peu de la flore infra-houillère. Elle comprend la plus grande partie des formations carbonifères de la Russie centrale, placées à cheval sur le terrain inférieur et sur l'étage moyen, ainsi celles de Kharkoff, de Petrowskaja (**).

(*) *Bulletin de la Soc. géol.*, 5^e série, t. II, p. 121.

(**) M. Grand'Eury, à la p. 414 de son ouvrage, indiquait les terrains houillers de l'Altai comme appartenant probablement à l'étage de la grauwacke supérieure, « malgré quelques indices de plantes houillères moyennes ». Il a reçu depuis lors de M. Nestorowski, ingénieur du gouvernement russe, une série d'empreintes qui paraissent plutôt indiquer l'étage infra-houiller ou même l'étage moyen. Ces empreintes proviennent de la mine de Salais, dans le bassin houiller de Kousnetz (Altai), et nous croyons intéressant de transcrire ici le texte d'une note que M. Grand'Eury a bien voulu nous adresser, le 21 avril 1877.

« Schiste houiller de Batschat. — 1^o Tige d'*Asterophyllites asiaticus*, remarquable par son noyau calamitoïde, dont les côtes n'al-

et probablement celles de l'est de la Chine. Enfin, en France, le terrain anthracifère de la Basse-Loire correspond à la grauwacke supérieure, de même que celui de Sarthe-et-Mayenne et que le bassin de Saint-Laurs dans la Vendée. M. Grand'Eury a eu sur le terrain de la Basse-Loire de nombreux renseignements, grâce à la belle collection recueillie par M. le Dr Bureau et déposée par lui au Muséum, et il y a trouvé la flore caractérisée par un grand nombre d'espèces du carbonifère inférieur, déjà mêlées de quelques types houillers; les empreintes de Sablé, de la Baconnière, de l'Huisserie (Sarthe-et-Mayenne), lui ont

ternent pas aux articulations et portent au niveau de celles-ci des points d'insertions foliaires; les filets nerveux des côtes, en s'écartant de ces points, se rejoignent dans les sillons où ils paraissent se croiser. L'épiderme est uni, membraneux, comme celui des *Hippurites* de Lindley. Les feuilles, petites et simples, soudées à la base, forment des gaines fissurées; il y a une feuille par côte.

« 2° *Asterophyllites*, rappelant l'*Annularia longifolia*, mais les feuilles ne sont pas soudées en un anneau à la base; plus analogue à l'*Ast. equisetiformis* du terrain houiller d'Angleterre figuré par Lindley, mais à feuilles plus nombreuses. Ces feuilles, d'ailleurs élargies au milieu, rappellent celles de l'*Annularia fertilis*, mais elles sont beaucoup plus longues.

« 3° *Cordaites borassifolius* Sternberg, et un autre à nervures égales assez espacées.

« 4° *Næggerathia asiatica*, rappelant tantôt le *Cyclopteris flabelata*. Brt., mais coriace, à nervures peu nettes, tantôt les *Cordaites*, mais à texture bien différente.

« 5° *Carpolithes* analogue au *C. retusus* Sternb., mais avec rebord marqué, et une autre espèce de *Carpolithes* semblable au *C. minutus* Sternb.; *Carpolithes* du type du *C. Lindleyanus*; une petite graine samaroïde oblongue ailée, dont les ailes se rejoignent au sommet aigu et prolongé de la semence.

« Schiste jaunâtre de Belowa. — 1° *Cordaites* à nervures égales prononcées.

« 2° Sorte de *Carpolithes ellipticus* Sternb.

« Schiste jaunâtre de Menscherep. — 1° Petites graines striées comme les *Rhabdocarpus*, paraissant avoir eu l'inflorescence flabelliforme du *Carpolithes distichus* Röm.

« 2° *Cardiocarpus* échancrés à la base comme au sommet, à rebords très-développés latéralement, mais qu'il serait difficile de

présenté les mêmes associations, indiquant des couches situées à la jonction du terrain carbonifère inférieur avec le terrain houiller proprement dit. A Saint-Laurs, toute la flore est ancienne sans mélange de plantes récentes, mais elle ne remonte en tout cas qu'à la grauwacke supérieure. Les autres bassins Vendéens, d'Épagne, Faymoreau, Vouvant et Chantonay, sont considérés comme plus récents, et les plantes qui en proviennent indiquent en effet le terrain houiller moyen ou plutôt sous-moyen.

Bassins du terrain houiller moyen. — Nous arri-

prendre pour des ailes; ces graines étaient probablement pédonculées.

« Grauwacke calcaire et schiste jaune du village de Merét. — 1° *Cordaites æqualis* Göpp. à base fort rétrécie.

« 2° *Pecopteris dicksonioïdes* pouvant bien provenir d'une partie de fronde encore supérieure à celle fig. 12, Pl. XXIX, de *Sphenopteris imbricata* Göppert (*Voyage scientifique dans l'Altaï oriental*).

5° *Asterophyllites sublongifolius*, à feuilles très-nombreuses, canaliculées, attachées à des rameaux plus larges que ceux de l'*Ast. longifolius* Sternb. et non renflés aux nœuds.

« Argile jaspoïde du village de Roskokowa (Monastinskaja).

— 1° *Asterophyllites longifolius* Sternb. véritable.

« 2° *Cyclopteris venosa*.

« Schiste ferrugineux d'Uskat. — 1° *Næggerathia cuneata*, auquel pourraient bien se rapporter les *Rhabdocarpus* signalés ci-dessus, à petites feuilles étroites recourbées à la base, cunéiformes et fissurées.

« 2° *Dadoxylon calcifié*.

« A Menscherep. — *Dadoxylon Tchihatcheffianum* Göpp. et une autre espèce de bois à fibres fines et nombreux rayons médullaires simples très-courts.

« *Conclusions*. — Toutes ces espèces sont houillères. Les fruits sont de ceux que l'on rencontre dans le terrain infra-houiller. La fougère signalée a des analogues dans le terrain houiller moyen. Les Calamariées sont de ce terrain. Les empreintes figurées par M. Göppert ne paraissent pas avoir une plus haute antiquité. A part l'*Anarthrocanna deliquescens*, qui est fort vague, les autres empreintes figurées ne sont pas celles de la grauwacke supérieure à laquelle cet auteur rapporte le terrain houiller de l'Altaï, qui nous paraît sensiblement plus récent. »

vons maintenant au terrain houiller moyen, qui comprend la plus grande partie des formations houillères du globe, et notamment les bassins les plus importants de l'Europe, échelonnés sur une longue bande qui s'étend depuis la Russie jusqu'en Angleterre et dont les dépôts carbonifères de l'Amérique du Nord semblent être le prolongement. Dans presque toute cette zone les couches les plus élevées renferment les plantes de l'étage sous-supérieur, mais les dépôts se sont arrêtés là, et presque nulle part on ne trouve le terrain houiller supérieur proprement dit.

Nous citerons, dans la Russie méridionale, le grand bassin du Donetz, dont M. Grand'Eury a examiné diverses empreintes provenant du district de Lougan, qui lui ont présenté les associations d'espèces caractéristiques du houiller moyen (*).

Dans la basse Silésie, comme nous l'avons dit, les couches les plus inférieures appartiennent au terrain carbonifère ancien, mais on trouve par-dessus l'étage sous-moyen passant même à l'étage moyen proprement dit.

Cet étage moyen est d'ailleurs bien représenté en haute Silésie, en Moravie et en Pologne; nous citerons notamment, pour la Pologne, les couches de Dombrowa, dont nous avons vu des plantes indiquant la flore moyenne. Il en est de même en Bohême, où la formation houillère est assez développée, commençant au terrain infra-houiller, dont on trouve la flore à Swina, et se continuant jusqu'à l'étage supra-moyen et même jusqu'à l'étage sous-supérieur. Ainsi, d'après M. Grand'Eury, on trouve à Wranowitz la

(*) Nous avons eu nous-même entre les mains une série de plantes fossiles du même bassin, rapportées par M. Béral des mines de Galuboska, et données à l'École des mines; nous y avons reconnu notamment les *Sphenophyllum saxifragæfolium* et *Schlotheimi*, *Annularia minuta*, *Calamites Suckowii*, *Asterophyllites*, *Pinnularia*, *Nevropteris heterophylla*, *Alethopteris Mantelli*, *Pecopteris muricata*, *Lepidodendron obovatum*, *Lepidophyllum* et *Rhabdocarpus*, en un mot la flore moyenne bien caractérisée.

flore sous-moyenne, à Kladno la flore moyenne proprement dite, et à Bras la flore supra-moyenne; il faut placer ensuite, comme appartenant déjà au terrain sous-supérieur, les dépôts de Rakonitz, de Pilsen et de Stradonitz.

En Saxe, les 2^e, 3^e, 4^e et 5^e zones de M. Geinitz, distinguées à Zwickau dans un bassin de 300 mètres d'épaisseur seulement, se trouvent, suivant M. Grand'Eury comme suivant M. Stur, à cheval sur le terrain moyen et sur le terrain supérieur, la 2^e zone correspondant à peu près à l'étage supra-moyen, et les trois suivantes rentrant dans l'étage sous-supérieur, sans que l'étage supérieur proprement dit soit représenté; la flore de toute cette formation se montre, en effet, à Zwickau, à Flöha, à Gückelsberg, à Oberhohndorf, etc., aussi éloignée de celle du rothliegende à laquelle correspond la 6^e zone, que de celle du culm, deux grandes lacunes existant ainsi, d'une part entre la 1^{re} et la 2^e zone et d'autre part entre la 5^e et la 6^e.

La riche formation houillère de Westphalie se montre généralement moyenne, mais on peut y distinguer un assez grand nombre d'étages: ainsi les couches de Hattingen, reposant sur la grauwaçke supérieure, représentent le terrain infra-houiller, celles de Dortmund l'étage sous-moyen, et celles de Bochum l'étage moyen proprement dit. On reconnaît la flore supra-moyenne à Essen, et mieux encore à Piesberg dans le Hanovre, et à Ibbenbühen.

Aux environs d'Aix-la-Chapelle, à Eschweiler, la majeure partie des couches sont de l'étage moyen, couronnées peut-être par un peu de terrain sous-supérieur.

Le terrain houiller de la Sarre est de même généralement moyen, mais on y trouve aussi l'étage sous-supérieur, représenté par la 1^{re} zone du Dr Weiss, notamment à Schwalbach, Dilsburg, Geislautern. Il y a ensuite une lacune assez importante, correspondant à l'étage supérieur, à la suite de laquelle les dépôts de combustible ont recommencé, les couches d'Ottweiler étant supra-houillères.

et étant suivies, à Lebach, par exemple, de couches permianes, caractérisées par le *Callipteris conferta*.

Le grand bassin de la Belgique et du Nord de la France, qui fait suite à celui de la Prusse rhénane, est, comme lui, bien nettement moyen; on y trouverait l'étage sous-moyen dans les couches les plus inférieures, et au sommet, près de Mons, l'étage supra-moyen et peut-être l'étage sous-supérieur. Il reste douteux pour nous, comme pour M. Grand'Eury (*), que la nature du charbon puisse suffire, dans le bassin du Nord, à déterminer l'âge des couches d'une façon tout à fait précise; nous n'avons, pas plus que lui, en effet, dans les couches d'Anzin, regardées comme les plus élevées, rencontré autre chose que des plantes moyennes. Mais on voit cependant apparaître sur divers points une flore un peu plus récente: M. Grand'Eury cite notamment les environs de Valenciennes; nous ajouterons que certaines fosses des concessions de Lens et de Dourges nous ont donné l'*Annularia sphenophylloïdes*, qui indiquerait au moins l'étage supra-moyen (**).

(*) Grand'Eury, *Flore carbonifère*, p. 612.

(**) M. l'abbé N. Boulay a publié récemment une étude, intitulée « *Le terrain houiller du Nord de la France et ses végétaux fossiles* » (Thèse de géologie présentée à la Faculté des sciences de Caen. Lille. 1876), dans laquelle il établit que chacune des trois zones du bassin du Nord, zone inférieure ou des charbons maigres, zone moyenne ou des charbons demi-gras, zone supérieure ou des charbons gras, est caractérisée par une flore particulière ou du moins par un certain nombre de plantes spéciales. L'ordre de succession qu'il indique est bien conforme, en gros, à ce qu'a établi M. Grand'Eury: ainsi il cite l'*Annularia sphenophylloïdes* et l'*Alethopteris Grandini* comme appartenant exclusivement à la zone supérieure. Mais il reconnaît lui-même qu'il arrive à réunir dans une même zone des faisceaux qui présentent des flores un peu dissemblables et que sa zone supérieure notamment n'est pas parfaitement homogène. En tout cas, il paraît bien ressortir de son travail que les couches les plus élevées seraient celles de Lens, Bully, Vermelles, Nœux (fosse n° 1) et Bruay, dans lesquelles il a trouvé toujours l'*Annularia sphenophylloïdes* assez abondant, et dont les charbons renferment une

En Angleterre, à part les couches inférieures d'Écosse dont nous avons parlé, toute la formation appartient au terrain houiller moyen depuis les *lower* jusqu'aux *upper coal-measures*, ceux-ci représentant peut-être cependant l'étage sous-supérieur; mais le terrain houiller supérieur proprement dit paraît manquer complètement. Quant au millstone-grit, qu'on a voulu identifier avec la grauwacke supérieure, les plantes qu'il renferme sont celles de l'étage sous-moyen et ne permettent pas d'admettre cette identification.

forte proportion de matières volatiles. Il faudrait, d'après nos observations personnelles, mettre dans le même groupe les veines exploitées à la fosse n° 2 de la concession de Dourges.

Mais il nous paraît difficile d'admettre que les charbons gras d'Anzin et de Denain, dont nous avons vu beaucoup d'empreintes, puissent appartenir au même étage, leur flore étant, ainsi que le dit M. l'abbé Boulay lui-même, sensiblement différente. Nous ne croyons pas qu'on puisse considérer ces différences comme étant du même ordre que celles qu'on rencontre entre les flores de localités différentes, la flore houillère nous paraissant bien, par ce que nous avons vu et par les faits que cite M. Grand'Eury, avoir été, du moins dans son ensemble, remarquablement uniforme sur une immense étendue, et cela même quand on entre dans le détail des étages.

Nous ajouterons que dans les assimilations que fait M. l'abbé Boulay, du bassin du Nord, d'une part avec les couches inférieures de Sarrebruck, d'autre part avec les bassins de la Saxe et notamment avec les plus élevés, comme Oberhohndorf (5^e zone de Geinitz), la première nous paraît seule parfaitement justifiée. Les échantillons extrêmement nombreux, réunis par M. du Souich, provenant de toutes les concessions du Nord, et dont nous poursuivons l'étude depuis quelques années, indiquent, comme nous l'avons dit, une flore identique à celle d'Eschweiler et de la zone inférieure de Sarrebruck; mais elle ne présente avec celle de la Saxe que des rapports éloignés, ce qui ne doit pas surprendre, puisque M. Grand'Eury montre que la plus grande partie des couches de la Saxe sont supra-moyennes et même sous-supérieures. C'est donc à tort qu'on persiste à vouloir appliquer partout la classification de M. Geinitz, et il n'est pas bien étonnant qu'on la trouve en défaut, et que la zone des Sigillaires, par exemple, ne puisse être distinguée dans le Nord, où, toutes les couches étant du terrain houiller moyen, ce genre de plantes ne tend pas, comme en Saxe, à disparaître dans les niveaux supérieurs.

Au sud de l'Europe, dans la péninsule ibérique, on retrouve encore le terrain houiller moyen et sous-moyen. C'est à l'étage sous-moyen qu'appartient la zone houillère de l'Andalousie, à en juger d'après les plantes de Belmez qu'a examinées M. Grand'Eury, et c'est à l'étage moyen qu'appartient le massif carbonifère des Asturies, les plantes de Langreo, Miérès (*), Santo-Firme et Arnao se rapportant bien positivement à la flore de cet étage. Mais on trouve aussi le terrain houiller sous-supérieur, représenté par le petit bassin de Puertollano, dans la province de Ciudad-Real, et c'est également à cet étage que se rapportent les empreintes du bassin de San-Pedro-da-Cova, en Portugal.

Dans l'Amérique du Nord, c'est encore le terrain houiller moyen, très-développé et couronné par le système sous-supérieur, que l'on rencontre en Nouvelle-Écosse et aux États-Unis, les *lower coal-measures* correspondant à l'étage sous-moyen et les *upper coal-measures* au passage du houiller moyen au houiller supérieur.

Bassins du terrain houiller supérieur. — On a vu, dans une grande partie des bassins qui viennent d'être examinés, les couches houillères moyennes couronnées par un peu de terrain sous-supérieur, mais sans arriver jamais jusqu'à l'étage supérieur proprement dit. Il y a aussi quelques points en Allemagne où le terrain houiller sous-supérieur se montre indépendant, ainsi à Wettin et Löbejün, à Manebach, au Niedrand dans le Hartz, et à la Stangalpe en Car-

(*) M. Grand'Eury a reçu de M. G. Ybran diverses plantes de Miérès, trop tard pour les citer dans son ouvrage, et il a bien voulu m'en envoyer la liste, que je transcris ici : « Nombreux *Diclyopteris Hoffmanni* Röm. (espèce d'Osnabrück); *Calamites communis* Eitings., *C. tenuistriatus* et *varians* Sternb. (on voit que cette dernière espèce est un noyau de tige d'*Asterophyllites*); *Sphenophyllum saxifragæfolium* et *Schlotheimi*; *Lepidodendron crenatum* Sternb. et *dichotomum* Sternb.; *Lepidophloios laricinus* Sternb. »

nole. Mais il y a deux autres bassins isolés dont la flore est bien celle de l'étage supérieur proprement dit : ce sont ceux d'Ilfeld, dans le Hartz, où l'on trouve le *Sphenophyllum Thonii*, et d'Ilmenau, en Saxe. Nous avons dit plus haut qu'à Sarrebruck les couches d'Ottweiler passent au terrain permien; il en est de même à Rossitz en Moravie, et à Turgove en Croatie, où le terrain houiller supérieur atteint le rothliegende, mais où il y a aussi du terrain carbonifère ancien (*). Enfin, en Sardaigne et en Toscane, il y a des couches houillères de l'étage sous-supérieur (**).

Mais c'est dans le bassin de la Loire et dans les autres bassins du centre et du midi de la France que l'on trouve le terrain supérieur le mieux représenté, les lacunes que les changements brusques de la flore indiquent sur certains points étant comblées sur d'autres, et l'ensemble offrant la série complète des dépôts depuis la fin du terrain houiller moyen jusqu'au commencement du permien. Le bassin de la Loire, sur lequel ont porté d'abord les études de M. Grand'Eury, présente une flore assez uniforme, la plupart des types et des espèces de Saint-Étienne existant déjà à Rive-de-Gier; les caractères de la végétation de ces deux systèmes de couches sont cependant assez différents, une lacune importante existant entre les deux, correspondant au dépôt des conglomérats puissants qui les séparent. On trouve à Rive-de-Gier, mêlées aux plantes supérieures, un nombre encore assez considérable de plantes moyennes,

(*) Extrait d'une lettre de M. Grand'Eury, du 24 avril 1877.

(**) Nous ajouterons que M. Fuchs a rapporté du Chili des schistes houillers présentant les plantes du terrain houiller supérieur, notamment les *Annularia sphenophylloïdes*, *Calamites Gistii*, *Pecopteris arborescens* et *hemitelioides*. Mais il y a aussi dans ce pays des dépôts de charbon beaucoup plus récents, correspondant à ceux du Banat, ainsi que le témoignent diverses empreintes de l'époque rhétique ou liasique, qui ont été données à M. Fuchs comme provenant des mines de la Ternera. (V. *Bull. Soc. géol.*, 3^e série, t. III, p. 56 et 572.)

comme dans un certain nombre des localités que nous avons citées plus haut, telles que Zwickau, Wettin, etc.; en un mot la flore est nettement celle de l'étage sous-supérieur, telle que nous l'avons indiquée plus haut. A Saint-Étienne les espèces moyennes ont disparu, notamment les *Lepidodendron* et la grande masse des Sigillaires, et ce sont les fougères qui dominent. Cette circonstance est assez remarquable, car dans tous les bassins du centre de l'Europe la houille est constituée principalement par des Sélaginées et des Sigillaires, et la cessation des couches de charbon à la partie supérieure des dépôts coïncidant avec l'extinction de ces plantes et le plus grand développement de la famille des Fougères, on en avait conclu souvent que celles-ci, ou plus généralement les plantes de la flore supérieure, avaient été peu propres à former de la houille. Or à Saint-Étienne les Cordaïtées et les fougères ne se montrent pas seulement abondantes en empreintes dans les schistes, mais on reconnaît que la houille est réellement formée de leurs débris, feuilles et écorces de Cordaïtées, tiges, pétioles et rachis de fougères, et dans les couches supérieures constituée surtout par des écorces et du bois de Calamodendrées. Ce n'est donc pas la nature des plantes, mais la richesse et la vigueur de la végétation qu'il faut faire entrer en ligne de compte pour expliquer l'importance des dépôts.

Étages houillers supérieurs de la France. —

En suivant les changements progressifs de la flore dans les couches successives du bassin de la Loire et complétant ensuite ses observations par l'étude de quelques autres bassins, M. Grand'Eury est arrivé à distinguer dans les terrains houillers supérieurs de la France un certain nombre d'étages caractérisés par l'ensemble de leur végétation.

Le premier, en partant de la base, est l'étage de *Rivede-Gier*, dont la flore renferme déjà une grande abondance

de fougères, mais parmi elles quelques espèces moyennes telles que le *Nevropteris flexuosa*; on y trouve encore les *Lepidodendron Sternbergii* et *Lepidophloïos laricinus*, les *Sigillaria tessellata* et *elegans*, et beaucoup de *Stigmaria ficoïdes*. Les couches houillères du Briançonnais appartiennent à cet étage, qui représente la base du terrain houiller supérieur.

Le second, l'étage des *Cévennes*, offre encore une flore sous-supérieure, mais dans laquelle les plantes moyennes sont de plus en plus subordonnées aux autres; les *Pecopteris névroptéroïdes* y arrivent à leur maximum, tandis que les *Pecopteris cyathéoïdes* n'y sont pas encore en possession de toutes les espèces par lesquelles ils seront représentés un peu plus tard; de même les *Odontopteris* ne font que commencer, tandis que les Sélaginées inférieures persistent encore.

L'étage des *Cordaïtées*, qui vient ensuite, forme le passage entre le terrain sous-supérieur et le terrain supérieur proprement dit, se rattachant pourtant mieux à celui-ci qu'à celui-là; c'est lui qui forme la base du système de Saint-Étienne. Il est caractérisé par la prépondérance des *Cordaïtées*, comme son nom l'indique; les *Dicranophyllum* sont fréquents; le *Pecopteris polymorpha* y est très-abondant; les *Sigillaria*, au contraire, sont en petit nombre, ainsi que les *Stigmaria*.

Dans l'étage des *Filicacées*, qui correspond aux couches moyennes et à une partie des couches supérieures de Saint-Étienne, ce sont les fougères qui dominent par leur masse, par le nombre de leurs genres et de leurs espèces, et qui forment le trait principal de la végétation; les *Pecopteris névroptéroïdes* commencent à décliner, mais les *Pecopteris cyathéoïdes*, les *Odontopteris* et les *Callipteridium* sont à leur maximum, accompagnés de *Doleropteris*, de *Poa-Cordaïtes* et de *Dory-Cordaïtes*.

L'étage des *Calamodendrées*, qui lui succède, est supra-

houiller; les *Cordaites* et les *Odontopteris* y sont en décroissance, mais les fougères en arbres continuent à jouer un rôle important, jointes aux *Calamodendron* qui deviennent prépondérants.

L'étage *permo-carbonifère* est à cheval, comme son nom l'indique, sur le terrain houiller et sur le terrain permien: il renferme cependant encore trop de plantes houillères pour pouvoir être détaché positivement du terrain houiller supérieur, mais on y trouve déjà plusieurs *Walchia*, l'*Odontopteris obtusiloba*, le *Calamites gigas* et même des *Callipteris*.

Il faut citer enfin comme couronnant l'ensemble l'étage permien du *Rothliegende*, dont la flore est à ors bien caractérisée, et dans lequel nous verrons qu'on trouve encore de la houille.

Age des bassins houillers du centre et du midi de la France. — Nous allons maintenant suivre M. Grand-Eury dans l'étude qu'il fait des différents bassins houillers isolés de la France, en prenant d'abord les divers groupes situés autour ou à l'intérieur du plateau central, le Forez, puis l'Auvergne, le Morvan, le Centre, le Sud-Ouest, le Midi et les Cévennes, et terminant par les formations des Alpes, du Var, des Vosges et de l'Ouest.

Bassins houillers du Forez et du Lyonnais. — Il y a peu de chose à dire du bassin de la Loire, puisque c'est lui qui a servi à l'établissement des divers étages qui viennent d'être définis; il suffit, quant à présent, d'indiquer que l'étage des Cévennes y est peu riche en houille; il se reconnaît cependant à Montrond; l'étage des Cordaitées commence avec les couches de Saint-Chamond, celui des Filicacées comprend les couches moyennes et une partie des couches supérieures de Saint-Étienne, le reste appartenant à l'étage des Calamodendrées, et l'étage permo-carbonifère étant représenté par les couches stériles qui couronnent le système.

Le petit bassin de Sainte-Foy-l'Argentière, situé dans les montagnes du Lyonnais, paraît correspondre d'après sa flore, malheureusement mal connue, aux couches élevées de Saint-Étienne.

Bassins houillers de l'Auvergne. — Dans le bassin de Brassac, les couches inférieures, dites de la Combelle, sont caractérisées par l'abondance et la variété des *Cordaites*, et appartiennent bien, par l'ensemble des plantes qu'elles renferment, à l'étage des Cordaitées; les couches supérieures ont une flore peu différente et n'appartiendraient guère que par leur sommet à l'étage des Filicacées.

Les empreintes trouvées à la Mothe, près Brioude, sont les mêmes que celles de Brassac.

Enfin c'est encore à peu près la même flore qu'on rencontre à Langeac, dont les diverses couches paraissent se rapporter à la partie moyenne de la zone des Cordaitées, dans laquelle vient se ranger en somme l'ensemble des terrains houillers de l'Auvergne.

Bassins houillers du Morvan. — Les plantes recueillies dans la grande couche inférieure de Blanzay, comme dans la grande couche supérieure du Montceau, présentent encore les mêmes caractères et conduisent à placer cette formation houillère vers le haut de l'étage des Cordaitées; puis, sans transition, les couches de Blanzay les plus élevées, dites de Montmaillot, offrent une abondance extrême de Calamodendrées et correspondent ainsi aux couches supérieures de Saint-Étienne, l'étage des Fougères paraissant manquer complètement.

Les couches de Longpendu seraient, par leur flore, contemporaines des couches inférieures du Montceau, tandis que celles de Saint-Bérain-sur-Dheune et les amas de Montchanin présentent la même flore que les couches de couronnement du système de Blanzay et se rattachent comme elles à l'étage des Calamodendrées.

La flore du Creusot est trop mal connue pour permettre

de dire à quel étage du terrain supérieur elle doit être rapportée; il est possible qu'elle corresponde à celle des couches d'Épinac, placées à la base du bassin d'Autun, et qui seraient intermédiaires entre le système de Rive-de-Gier et celui de Saint-Étienne. Les couches de Sully et du Grand-Moloy, qui se trouvent au-dessus, sont déjà de l'étage des Calamodendrées; enfin les schistes bitumineux, qui leur font suite, présentent à la partie inférieure, notamment à Chambois, un mélange d'espèces permienes et houillères indiquant l'étage permo-carbonifère, et à la partie supérieure, à Millery, une flore exclusivement permienne qui peut bien représenter même l'étage supérieur du rothliegende.

On voit que dans toute cette région, après la formation de couches de combustible contemporaines de l'étage des Cordaïtes, il y a eu une lacune correspondant à l'époque des Fougères. Puis les dépôts ont recommencé à l'époque des Calamodendrées et se sont continués jusque dans la période permienne.

Il faut signaler dans le même groupe le petit bassin de La Chapelle-sous-Dun, qui se range un peu plus bas que le milieu du terrain houiller supérieur, et les couches de charbon exploitées à Bert (Allier), qui sont au contraire nettement permienes: on y trouve, en effet, avec quelques plantes communes au terrain houiller et au terrain permien, une grande profusion de plantes propres au rothliegende, notamment le *Callipteris conferta* avec ses diverses variétés et plusieurs autres espèces du même genre; c'est, en un mot, la même flore qu'à Lebach, près de Sarrebruck, dont le niveau est rapporté au rothliegende moyen. C'est, quant à présent, le seul bassin permien connu en France, et il est fort intéressant, à tous les points de vue, de constater que le terrain permien n'est pas nécessairement stérile, comme on était porté à le croire.

Bassins houillers du Centre.—Ce groupe comprend une

série de petits bassins alignés dans la direction N. 15° E., Buxière-la-Grue, Saint-Éloi, Champagnac, etc., et ceux de Decize, Commeny et Doyet, Ahun et Bourganeuf.

Le terrain houiller de Decize offre un mélange de fougères et de Calamodendrées, qui conduit à le placer à cheval sur les deux étages caractérisés par ces deux groupes de plantes. Il en est de même à Commeny, à Bourganeuf et à Ahun (*), comme s'il existait des rapports de formation commune entre ces divers bassins. Les quelques plantes connues de Champagnac (Cantal) paraissent correspondre à la flore des couches moyennes de Saint-Étienne, c'est-à-dire à l'étage des Fougères.

A Buxière-la-Grue, les empreintes trouvées dans le bassin houiller sont plutôt celles de l'étage des Calamodendrées. Au-dessus de la couche de houille se trouve un banc de quartz qui s'étend très-loin et renferme un grand nombre de végétaux houillers silicifiés en place.

(*) Les plantes d'Ahun données à l'école des mines par M. Gruner et celles que nous avons vues dans la belle collection de M. le Dr Chaussat, à Lavaveix-les-Mines et au musée de Guéret, semblent indiquer en effet la partie supérieure de l'étage des Fougères. Nous citerons les espèces suivantes: *Annularia sphenophylloïdes*, *A. longifolia* très-abondant, avec *Bruckmannia*; *Sphenophyllum oblongifolium*, commun, et *S. majus*; *Macrostachya infundibuliformis*; *Calamophyllites*; *Asterophyllites equisetiformis*; *Calamites Suckowii*; *Pecopteris Candolleana*, *cyathea*, *polymorpha*, *Biotii*, *Pluckeneti*; *Callipteridium ovatum* et *gigas*; *Nevopteris cordata*; *Odontopteris Reichiana* et *minor*; *Cyclopteris*; *Dictyopteris Schützei*; *Schizopteris lactuca?*; *Doleropteris*; *Caulopteris peltigera*, *macrodiscus*, *protopteroides*, *minor?*, et plusieurs autres non décrits; *Megaphyllum Mac-Layi*, et deux espèces non décrites; *Aulacopteris*, *Medullosa*; *Sigillaria Brardii* et *spinulosa*, *Stigmaria*; *Cordaïtes* (assez nombreux au puits Sainte-Barbe); *Poacordaïtes linearis*; *Cordaïcladus*; *Dicranophyllum gallicum*; *Calamodendron cruciatum*, abondant; *Carpolithes* très-nombreux et variés, notamment le *Pachytesta gigantea*, des *Cordaïcarpus*, entre autres le *C. expansus*, et des *Polyptérocarpes*. M. Gruner faisait d'ailleurs remarquer dans le *Bulletin de la Société géologique* (2^e série, t. XXV, p. 595) l'abondance des fougères dans le bassin d'Ahun, en raison de laquelle il le rapprochait de la zone des Fougères de Geinitz.

Les autres bassins du groupe sont au contraire un peu plus anciens : ainsi, à la mine de Montet-aux-Moines (Allier) et à Saint-Éloi (Puy-de-Dôme), c'est à l'étage des Cordaïtes ou tout au moins à la partie supérieure de cet étage que se rapporte la flore des couches exploitées.

Bassins houillers du Sud-Ouest. — Ce groupe forme la suite naturelle du précédent, l'alignement houiller dont nous avons parlé se continuant par les petits bassins d'Argentat (Corrèze) et de Cublac (Dordogne), qui paraissent se rapporter l'un et l'autre à l'étage des Filicaées. M. Grand'Eury rapprochant le premier des couches moyennes et le second des couches supérieures de Saint-Étienne (*).

A Saint-Perdoux (Lot), au contraire, les plantes houil-

(*) M. Mouret, ingénieur des ponts et chaussées à Brive, a réuni une importante série d'empreintes provenant de ces deux bassins. Nous citerons, pour Argentat, les espèces suivantes : *Annularia longifolia* et *brevifolia*, communs; *Calamites Cistii* et *major*; *Asterophyllites equisetiformis*, *Macrostachya infundibuliformis*; *Pecopteris arborescens*, abondant; *P. cyathea*, *hemitelioides*, *Bistia*; *Alethopteris Grandini*; *Callipteridium ovatum*, abondant; *Schizopteris*; *Cordaïtes* et *Poacordaïtes*; *Dicranophyllum gallicum*, assez fréquent; *Carpolithes* divers. Il y a comme on voit, une assez grande analogie entre cette flore et celle d'Abun, avec cette différence que nous n'avons vu, du moins parmi les plantes recueillies, aucun *Calamodendron*.

Pour le groupe de Cublac, nous ajouterons aux plantes citées par M. Grand'Eury : au Lardin, *Annularia longifolia*; *Pecopteris arborescens*, *cyathea* et *hemitelioides*; à Cublac : *Calamites approximatus*; *Alethopteris Grandini*; *Schizopteris* et *Androstachys*; l'*Odontopteris Brardii* et le *Diclyopteris Brongnarti* sont surtout très-abondants; enfin, dans des affleurements de schistes houillers reconnus par M. Mouret, près de Peyrignac, à l'ouest du Lardin, nous avons vu les *Pecopteris polymorpha*, *oreopteridia*, *arborescens* et *Pluckenetti*, un *Schizopteris*, des *Cordaïtes*, et le *Rhabdocarpus tunicatus* excessivement abondant.

Toutes ces plantes répondent bien à la flore de l'étage des Fougères, et nous ne pensons pas qu'il puisse y avoir grande différence d'âge entre le bassin d'Argentat et celui de Cublac; d'ailleurs l'abondance dans ce dernier de l'*Odontopteris Brardii* con-

lères ressemblent plutôt à celles de Rive-de-Gier, ce qui ferait ranger les dépôts de cette localité à la base du terrain houiller supérieur.

Enfin, dans l'Aveyron, la flore est celle du sommet de ce terrain; car c'est à l'étage des *Calamodendrées* qu'elle se rapporte le mieux; ainsi la grande couche de Decazeville est formée surtout d'écorces de *Calamodendron*; mais les couches les plus inférieures paraissent plutôt se rapporter à l'étage des Fougères, d'après les observations de M. Nougarede, ingénieur principal des houillères de Decazeville, qui nous a dit avoir distingué dans le bassin deux systèmes, caractérisés, celui du bas par l'abondance des *Alethopteris*, et celui du haut par les *Calamodendrées*.

Bassins houillers du Midi. — Les bassins houillers du Languedoc-et-des Pyrénées paraissent appartenir tous au terrain houiller sous-supérieur, sans que l'étage supérieur proprement dit s'y trouve représenté. Ainsi, à Carmaux (Tarn), la flore se fait remarquer par l'abondance des *Cordaïtes* et surtout des *Pecopteris neuroptéroïdes*, tels que le *P. polymorpha*. On rencontre les mêmes plantes à Graissessac et à Neffiez, mais dans cette localité le terrain permien existe au-dessus de la houille sous la forme de schistes noirs qui paraissent contemporains de ceux de Lodeve. Ceux-ci ont une flore nettement permienne, qui conduit à les rapporter à l'étage moyen du rothliegende.

Il paraît à l'assimiler plutôt encore aux couches moyennes qu'aux couches supérieures du système stéphanois.

Nous ajouterons qu'aux environs de Brive on trouve des grès micacés dont la flore paraît indiquer l'étage permo-carbonifère, sinon le permien proprement dit; nous y avons vu notamment les *Calamites gigas* et *Walchia piniformis*, avec un *Sphenophyllum* particulier, et quelques fougères difficiles à déterminer d'une façon précise, mais au moins très-voisines de plusieurs des espèces décrites par Gutbier dans la flore du rothliegende. M. D. Stur a cité ces plantes dans les *Verhandlungen der k. k. geol. Reichsanstalt*. 1876, p. 277.

C'est encore le terrain sous-supérieur qu'on trouve à Durban (Aude), comme à Carmaux, et à la Rhune dans les Basses-Pyrénées.

Bassins houillers des Cévennes et du Vivarais. — L'examen des plantes fossiles du terrain houiller du Gard conduit à une classification des divers systèmes de couches bien différente de celle qu'avait admise Émilien Dumas, qui plaçait les couches de Molière au sommet, celles de la Grand'Combe à la base et celles de Champclauson au milieu. Tout d'abord on ne trouve dans tout le bassin que des plantes du terrain houiller supérieur; on y remarque, il est vrai, encore des Sigillaires, mais en voie de disparition et noyées dans une masse de types plus récents; il est donc impossible d'admettre l'existence du terrain houiller moyen, auquel M. Sarran rapportait les couches de Bességes et de Champclauson.

L'ensemble de la flore de Bességes indique une époque de formation intermédiaire entre celles du système de Rive-de-Gier et du système de Saint-Étienne et conduit à rapprocher ce faisceau de couches des dépôts de Carmaux et de Graissessac; les couches de Molière présentent une végétation très-analogue, avec peut-être moins de *Pecopteris névroptéroïdes* et plus d'*Odontopteris* et d'*Annularia*.

Les couches de la Grand'Combe et de Champclauson se font remarquer par la masse des *Cordaites* qu'elles renferment et paraissent bien appartenir, par leur flore, à l'étage des Cordaitées. A la montagne Sainte-Barbe, les empreintes que M. Grand'Eury a pu voir lui ont offert les mêmes caractères que celles de Bességes. Enfin, aux mines de Portes, il a trouvé la flore caractérisée par une proportion bien moindre de *Pecopteris névroptéroïdes* et plus forte de *Pecopteris cyathéoides*, au point que ce faisceau de couches semble se rapporter déjà à la base de l'étage des Filicacées, ou tout au moins à la partie la plus élevée de celui des Cordaitées.

Le terrain houiller du Gard comprendrait ainsi deux étages: l'étage des Cévennes dans lequel rentreraient Bességes, la montagne Sainte-Barbe et Molière, et l'étage des Cordaitées représenté par les couches de la Grand'Combe, de Champclauson et de Portes.

Le bassin de Prade (Ardèche) paraît être du même âge que le faisceau des couches de Bességes; il renferme aussi quelques Sigillaires, au milieu d'une flore incontestablement supérieure.

Bassins d'anhracite des Alpes. — Les couches d'anhracite des Alpes, sur la position desquelles on a longtemps discuté, sont maintenant reconnues houillères par tous les géologues, et leur flore conduit à les rapporter au terrain houiller supérieur. Mais il paraît y avoir deux groupes distincts: ainsi à La Mure et à Petit-Cœur l'ensemble de la végétation est le même que dans les Cévennes, tandis que dans le Briançonnais on trouve plutôt les associations de plantes du système de Rive-de-Gier; ce serait à l'étage du Briançonnais que se rapporteraient les couches de la Stangalpe en Carniole. Le terrain houiller du Valais et des Alpes centrales se rattacherait, comme celui de La Mure, à l'étage des Cévennes. Il y a lieu d'ajouter que les Alpes centrales paraissent posséder aussi du terrain anhracifère véritable, c'est-à-dire du carbonifère inférieur.

Bassin houiller du Var. — On trouve dans le Var une bande étroite de terrain houiller dont toutes les empreintes indiquent le terrain supérieur; à Saint-Nazaire du Var et au Plan-de-la-Tour, il paraît même passer au terrain permien, surtout dans ce dernier point où M. Grand'Eury a reconnu la présence du genre *Callipteris*. A Bosen on rencontrerait cependant des couches un peu moins élevées.

Bassins houillers des Vosges. — Le principal bassin houiller des Vosges est celui de Ronchamp, qui repose directement sur le terrain de transition. Bien qu'il soit recouvert immédiatement par des assises permienues, il paraît

devoir être placé assez bas dans le terrain houiller supérieur, un peu au-dessous de l'étage des Cordaites; sa flore présente de grandes analogies avec celle des couches d'Épinac.

Nous ajouterons, d'après nos observations personnelles, que le petit bassin de Villé, en Alsace, semble beaucoup plus récent; nous n'en connaissons qu'une empreinte, mais c'est le *Callipteris conferta*, qui indiquerait le passage au terrain permien.

Bassins houillers de l'Ouest. — On a vu que le terrain carbonifère ancien est assez largement représenté dans l'ouest de la France, mais on trouve aussi dans cette région des lambeaux de terrain houiller supérieur.

Ainsi Saint-Pierre-Lacour, dans la Mayenne, doit être contemporain des couches moyennes ou même des couches supérieures de Saint-Étienne (*).

A Kergonne, près de Quimper, les couches houillères seraient également très récentes, à en juger par les échantillons de la collection du Muséum examinés par M. Grand'Eury.

Enfin, dans le Cotentin, les deux petits bassins de Littry et du Plessis paraissent appartenir à la partie la plus élevée du terrain houiller.

Résumé. — On voit, en résumé, que la formation houil-

(*) M. Grand'Eury cite de cette provenance, d'après nos indications, le *Sphenophyllum Thonii*; nous avons pu nous assurer de l'identité de cette espèce, qui paraît propre à l'étage supra-houiller et qui est très-abondante à Saint-Pierre-Lacour. L'École des mines possède de beaux échantillons de cette mine, envoyés par M. de Gouvenain et par M. Saminne, directeur des houillères, et parmi lesquels on remarque les *Pecopteris cyathea* et *oreopteridia*, *Goniopteris arguta*, un très-beau *Sphenopteris* (n. sp.), *Caulopteris peltigera* et *patria?*, *Ptychopteris macrodiscus*, *Annularia longifolia*, et des *Calamodendron*. D'après l'ensemble de la flore, les couches de Saint-Pierre-Lacour nous sembleraient devoir être rapportées à l'étage des Calamodendrées, ou tout au moins à la partie supérieure de l'étage des Fougères.

lère n'a commencé dans le centre de la France qu'au moment où elle se terminait dans le nord; elle s'est faite dans une série de bassins indépendants, dont quelques-uns sembleraient cependant, par la remarquable identité de leurs flores, avoir entre eux des rapports fort étroits: ainsi le Montel-aux-Moines et Saint-Éloïd'une part, Decize et Commeny d'autre part. Les premiers bassins formés sont ceux du Briannonnais et de Rive-de-Gier, puis ceux de La Mure et du midi, en y comprenant une partie du terrain houiller du Gard. Tous ceux du centre, au contraire, sont plus récents, ceux d'Épinac et de Ronchamp paraissant les plus anciens, à la base de l'étage des Cordaites, qui se continue par les couches de Brassac et de Langeac, de la Grand-Combe, de Blanzay et de Longpendu et par la zone inférieure du système de Saint-Étienne. Les couches moyennes et une partie des couches supérieures de ce système paraissent contemporaines de celles de Champagnac, Argentat, Cublac, Decize, Commeny, Bourgneuf, Ahun, Saint-Pierre-Lacour et d'une partie de celles de l'Aveyron. Puis à l'époque des Calamodendrées se sont déposées les couches supérieures de Decizeville et celles de la série d'Avize, au sommet du système stéphanois, pendant que dans Saône-et-Loire la formation, interrompue pendant la période des Fougères, recommençait et produisait de nouvelles couches de houille; celles de Buxière-la-Grue, du Cotentin et du Var paraissent dater de la même époque; sur la plupart de ces points on passe peu à peu au terrain permien, à partir duquel paraît avoir cessé presque partout, sauf à Bert, le dépôt des couches de combustible.

Classification des couches du bassin de la Loire.

— L'application de la flore fossile à la classification et à la reconnaissance des couches ou des faisceaux de couches d'un même bassin présente des difficultés bien plus grandes que la détermination des étages et exige une connaissance

encore plus complète de l'ensemble de la végétation. M. Grand'Eury fait remarquer que dans un même bassin la nature des roches paraît exercer une influence sur la distribution des plantes fossiles, ce qui n'est pas bien surprenant, puisque, suivant le mode de sédimentation, tel ou tel genre de débris végétaux devait se déposer de préférence au fond de l'eau; en outre, la nature du sol pouvait être plus favorable à certaines plantes qu'à d'autres, et l'on remarque, par exemple, à Saint-Étienne, que les Cordaïtes se montrent plus abondantes et les Calamariées plus rares au contraire dans la région orientale du bassin, où les roches sont plus micacées. Dans une même couche, le mode de groupement des plantes variera d'un point à un autre, une espèce dominant ici et une autre là, comme on l'observe dans la flore actuelle. D'autre part, les conditions ayant pu changer sensiblement entre le dépôt de deux strates consécutives, on pourra trouver entre leurs flores, sur la même verticale, des différences brusques, tandis que sur un autre point ces différences seront beaucoup moins accusées. Il y a là des causes d'erreur qu'il importe d'écartier en étudiant sur une étendue suffisante la flore de chaque niveau et en tenant bien compte de toutes les plantes qu'on rencontre, de leur proportion quantitative et de leur mode d'association. Il pourra arriver parfois qu'un niveau soit uniformément caractérisé par une certaine espèce, qui manquera dans les couches voisines, et fournira ainsi un repère assuré; mais il ne faudra pas vouloir trop généraliser ce genre de caractère, qui risquerait d'être en défaut ailleurs. Il ne faut pas croire, du reste, que la classification reconnue dans un bassin par les changements successifs de la flore puisse être appliquée sans modification dans un autre; l'ensemble de la végétation paraît bien avoir varié partout de la même manière, mais les conditions de dépôt ayant pu n'être pas les mêmes dans deux bassins différents, les coupures à établir et les groupements

à faire par faisceaux de couches devront nécessairement différer de l'un à l'autre.

C'est en tenant compte de ces diverses considérations que M. Grand'Eury est arrivé à classer et à grouper les différentes couches du bassin de la Loire. Ce bassin comprend, au point de vue géologique, trois grandes divisions, qui sont, de bas en haut, le système de Rive-de-Gier, le conglomérat qui le recouvre, et le système de Saint-Étienne.

Système de Rive-de-Gier. — On a vu qu'il est caractérisé par une flore différente de celle du système stéphanois, les plantes moyennes, et notamment les *Sigillaria*, y jouant encore un rôle assez important. Or on retrouve ces plantes dans quelques lambeaux vers le bord septentrional du bassin, au nord-est et au nord-ouest de Saint-Étienne, notamment à la Poizatière, au Grand-Recou, à Chapoulet, à Monteux, à Ecullieux et à la Maison-Blanche. De même, du côté de l'est, on rencontre de nouveau, sur le prolongement du bassin, les empreintes caractéristiques de l'étage de Rive-de-Gier, à Fontanas, à Manévieux et à Saint-Martin-de-Cornas.

Enfin le petit bassin de Communay, sur la rive gauche du Rhône, paraît devoir appartenir au même étage; cependant sa flore a peut-être encore plus de rapports avec celle des couches de La Mure, qui doivent, comme on l'a vu, être rattachées à l'étage des Cévennes.

Conglomérat. — L'assise de grès, d'une puissance d'environ 200 mètres, qui forme le toit de la grande couche de Rive-de-Gier, doit être considérée comme appartenant encore au système inférieur. Elle est recouverte d'une masse de conglomérat, épaisse en moyenne de 300 mètres, à la base de laquelle se trouvent, en divers points, des nappes de roches éruptives connues dans le pays sous le nom de *talourine*, et dont l'apparition a été accompagnée d'éruptions de sources siliceuses, qui ont formé les bancs de

quartz geysériens qu'on rencontre en place, puis sous forme de galets roulés, dans le conglomérat. C'est dans ces quartz que M. Grand'Eury a trouvé des quantités considérables de débris végétaux silicifiés, dont l'étude fait faire chaque jour de nouveaux progrès à la botanique fossile.

La flore des schistes carbonneux qui se montrent aux deux extrémités du bassin, à la Niarais et à Givors, conduit à les considérer comme correspondant à la partie supérieure des conglomérats, et comme formant un étage intermédiaire entre le système de Rive-de-Gier et celui de Saint-Étienne. Il faut y rattacher, en raison des empreintes qu'ils renferment, les lambeaux schisteux des Rouardes et ceux de la Giraudière, de Robertanç et de Landuzière, vers le bord septentrional du bassin. Du côté de Givors, la partie inférieure du petit bassin de Montrond doit correspondre à l'étage de Rive-de-Gier, mais la partie moyenne et la partie supérieure appartiennent l'une et l'autre à l'étage intermédiaire, caractérisé par une grande abondance de Cordaïtes avec plusieurs espèces nettement supérieures, mélangées d'un petit nombre d'espèces du terrain houiller moyen. Il n'est pas possible, avec une flore semblable, d'admettre, comme on l'avait indiqué, que le bassin de Givors fasse partie du terrain houiller ancien. Les couches de Saint-Jean-de-Toulas et de Tartaras, entre Givors et Rive-de-Gier, doivent faire partie du même étage, bien que se rapprochant peut-être un peu plus de la base du système stéphanois.

Enfin on doit regarder comme formant le couronnement du système du conglomérat les grès micacés, ou *grattes*, qui s'étendent au nord de Saint-Chamond et dans lesquels on trouve déjà le commencement de la flore de Saint-Étienne.

Système de Saint-Étienne. — M. Grand'Eury a été amené, en étudiant comparativement les différents faisceaux de couches, à les classer dans l'ordre suivant, qui

concorde avec celui qu'a établi M. Gruner dans ses études sur le bassin houiller de la Loire :

- 1° Zone des couches inférieures de Saint-Étienne, 16^e, 15^e, 14^e et 13^e (grande couche inférieure);
- 2° Faisceau des 9^e, 10^e, 11^e et 12^e couches;
- 3° Niveau de la 8^e (grande couche moyenne);
- 4° Groupe de la 3^e (grande couche supérieure) et de ses satellites en dessous (4^e, 5^e, 6^e et 7^e) et en dessus (2^e et 1^{re});
- 5° Horizon de la couche des Rochettes;
- 6° Série d'Avazè.

§ 1. — La zone inférieure est caractérisée par la prédominance des Cordaïtes, qui forment presque toute la houille; elle a son point de départ à la Chazotte, au Montcel, aux Roches. Les couches, nombreuses et peu épaisses, exploitées à Saint-Chamond, correspondent à cette zone, à laquelle appartiennent de même, au nord de Saint-Étienne, la grande couche du Cros et les couches de la Doa. Elle reparait à l'ouest, dans les affleurements des Berlans, près de Roche-la-Molière, à Bichizieux, à Unieux-Saint-Victor, et au sud-ouest à Montessu, à Firminy, où la couche du Soleil paraît représenter la 15^e couche de Saint-Étienne, et au Chambon.

§ 2. — Dans le faisceau de la 9^e à la 12^e couche, les Cordaïtes sont moins abondants; il y a beaucoup de *Poacordaïtes*, d'*Odontopteris Reichiana*, de *Pecopteris polymorpha*; on peut citer comme espèce propre le *Sphenophyllum majus*; c'est le commencement de l'étage des Filicacées. C'est à ce faisceau qu'appartiennent les couches de la Porchère, comptées comme 14^e, 15^e, 16^e et 17^e, ainsi que les couches de Roche-la-Molière, de la Roare, de Combe-Blanche, de Côte-Martin et de la Malafolie.

§ 3. — La 8^e couche a une flore spéciale, caractérisée, par exemple, par le maximum des *Alethopteris* et *Callipteridium* avec l'*Odontopteris Brardii*, beaucoup de *Cor-*

daïtes et de *Pecopteris cyathéoides*. C'est à elle qu'il faut identifier la couche de Villars, de même que la couche de Gluzel, celle de Côte-Chaude et celle des Barraudes. Mais elle ne paraît pas se retrouver du côté de la lisière méridionale du bassin.

§ 4. — Dans le groupe de la 3^e couche, qui correspond au système moyen de M. Gruner, l'*Odontopteris minor* commence à apparaître; il y a toujours une grande quantité d'*Alethopteris* et *Callipteridium*; le charbon paraît formé de troncs et de pétioles de fougères avec des écorces et du bois de Calamodendrées. Ce groupe se montre au Quartier-Gaillard, au Clapier, à Montsalson, à Pomarèze, et jusqu'à Troussieux, puis, du côté de Firminy, au Breuil, à la Barge, à Saint-Léon, et en revenant vers le nord-est, à Montrambert et à la Béraudière.

§ 5. — L'horizon de la couche des Rochettes, caractérisé par l'abondance des *Odontopteris minor* et *Schlotheimi*, avec déjà beaucoup de Calamodendrées, marque la fin de l'étage des Fougères: il se reconnaît sur différents points, notamment à Villebœuf vers 250 mètres de profondeur, au fond du puits Saint-Benoît, à la tranchée du puits Boyer, au Clapier, au Grand-Coin, à Chavassieux.

§ 6. — Dans les couches de la série d'Avaize, qui appartiennent à l'étage des Calamodendrées, les *Annularia* et les *Sphenophyllum* sont devenus très-rares; les *Alethopteris* et *Callipteridium* ont aussi beaucoup diminué comme quantité et comme développement. Cet étage ne se retrouve que sur quelques points, par exemple au Deveis et à Montrambert, où il est représenté par la couche des Combes.

Pour le détail de ces raccordements, comme de ceux des autres groupes, que nous n'avons pu que résumer très-succinctement, il faudrait se reporter au texte même de M. Grand'Eury et à sa carte détaillée du bassin de la Loire, sur laquelle il a indiqué les différents groupes et niveaux qui viennent d'être passés en revue.

Au-dessus des couches de la série d'Avaize, on trouve à Montrambert une longue suite de grès et de schistes stériles alternant entre eux, dont la flore accuse un achèvement de plus en plus marqué vers celle du terrain permien, indiquant ainsi l'étage permo-carbonifère. Le rothliegende pourrait bien être ensuite représenté par les grès rouges qui couronnent la formation sur quelques points, comme à Patroa, à Gidrol et à Valbenoite.

M. Grand'Eury termine son travail par une étude des différentes failles qui sillonnent le bassin et qu'il a également reportées sur sa carte. Nous n'entrerons pas ici dans ces derniers détails, qui sortent, du reste, du cadre que nous nous étions tracé, voulant surtout montrer aux lecteurs des *Annales* l'intérêt pratique que présente l'étude des plantes fossiles et les résultats remarquables auxquels elle a conduit pour la classification des bassins houillers. Il serait à désirer que cet exemple engageât les exploitants à recueillir avec plus de soin les empreintes végétales; il leur serait facile de les faire déterminer et ils pourraient ensuite arriver à en tirer bon parti pour la reconnaissance et le raccordement des parties brisées des couches de charbon, et par suite pour la direction des travaux. Ils contribueraient en même temps aux progrès de la science paléontologique et fourniraient de précieux éléments pour la solution de plusieurs questions du plus haut intérêt scientifique. Chacun y trouverait ainsi son avantage, et nous ne pouvons, en terminant, que souhaiter que notre vœu soit entendu.

DE L'EMPLOI DU MICROSCOPE POLARISANT
A LUMIÈRE PARALLÈLE

POUR LA DÉTERMINATION

DES ESPÈCES MINÉRALES EN PLAQUES MINCES

Par M. A. MICHEL LÉVY, ingénieur des mines.

L'extension inattendue que l'application du microscope a donnée aux études pétrographiques, depuis une dizaine d'années, tend à reporter sur le microscope polarisant à lumière parallèle une partie de l'importance que l'on attribue à juste titre, pour les études minéralogiques, à l'emploi du microscope polarisant à lumière convergente: on sait en effet que ce dernier n'est, à proprement parler, qu'une forte loupe qui n'atteint pas les plus faibles grossissements des vrais microscopes; de plus il lui faut des plaques épaisses, tandis que les études pétrographiques comportent des plaques aussi minces que possible. On a donc cherché à tirer du microscope polarisant à lumière parallèle, non-seulement des données sur le système cristallin des divers minéraux, mais encore des caractères précis déterminant chaque espèce importante: M. Rosenbusch s'est attaché, dans ses ouvrages classiques (*), à la description de ces caractères; M. Fouqué, dans son cours au Collège de France, professé durant l'année 1876, a exposé les résultats de ses nombreuses observations personnelles; enfin, dans un mémoire récent (**), M. Des Cloizeaux est

(*) *Mikrosk. Physiographie der Mineralien*, 1875. — *Id. der massigen Gesteine*, 1877.

(**) *Annales de chimie et de physique*, 5^e série, t. IX, 1876.

venu au secours des pétrographes, dans la question si délicate de la détermination des feldspaths tricliniques, et leur a fourni des données précieuses, quoique mal utilisées jusqu'à présent par la plupart des auteurs.

On sait que, dans le cas le plus général, une plaque mince d'une substance cristallisée quelconque subit, dans la lumière monochromatique parallèle, quatre extinctions à angle droit, entre les Nicols croisés, pour une rotation de 360° de la plaque sur le plan porte-objet. Ces extinctions se produisent quand les axes de l'ellipse d'élasticité de la section coïncident avec les plans principaux des Nicols; lorsque cette ellipse devient un cercle (substances isotropes, sections perpendiculaires à un axe optique), l'extinction a lieu d'une façon constante dans toutes les directions.

Cette propriété permet de préjuger et même de déterminer souvent le système cristallin des petits cristaux qui se présentent dans le champ de l'appareil: on connaît en effet les relations qui lient, dans les systèmes symétriques, la position des axes d'élasticité à celles des axes cristallographiques ou de figure.

1°) Dans le *système cubique*, l'ellipsoïde d'élasticité est une sphère; toutes les sections sont constamment éteintes.

2°) Dans les *systèmes quadratique et hexagonal*, c'est un ellipsoïde de révolution autour de l'axe principal de figure qui est perpendiculaire à la base carrée ou hexagonale. Dès lors toute section parallèle à cette base reste constamment éteinte. La section du cristal, auquel on suppose seulement ses faces les plus simples, et de son ellipsoïde d'élasticité par un plan quelconque, donne un parallélogramme ou un hexagone dont l'ellipse d'élasticité a pour axes la projection de l'axe principal du cristal sur le plan de section et sa perpendiculaire. Il en résulte que les différentes sections, passant par une perpendiculaire à l'axe principal, s'éteignent constamment suivant au moins un de leurs côtés.

3°) Dans le système *orthorhombique*, l'ellipsoïde d'élasticité a ses trois axes inégaux, mais leurs directions se confondent avec celles des trois axes cristallographiques; les sections suivant les zones g_1h_1 , pg_1 , ph_1 sont rectangulaires, et comme elles contiennent un des axes principaux d'élasticité, respectivement parallèles à ces trois arêtes, ces sections s'éteindront suivant ces arêtes, c'est-à-dire suivant les côtés du rectangle. En dehors de ces trois zones, il n'y a plus de sections en zone, symétriques par rapport à deux axes rectangulaires, et pour l'extinction d'une section quelconque, nous sommes forcés de recourir aux axes optiques, c'est-à-dire non-seulement à la notion de position, mais encore à la notion de grandeur relative des axes d'élasticité de la substance: on sait en effet que les axes optiques, toujours situés dans le plan des axes de plus grande et de plus petite élasticité, sont perpendiculaires aux sections circulaires de l'ellipsoïde.

On sait aussi que dans un cristal quelconque, pour une section quelconque, l'extinction se fera suivant la trace des plans bissecteurs de l'angle dièdre, ayant pour arête la normale à la section, et dont les côtés passent par chacun des deux axes optiques.

Dans le système *orthorhombique*, les axes optiques sont situés dans le plan de deux axes cristallographiques; les sections circulaires de l'ellipsoïde d'élasticité découperont donc, dans le cristal supposé simple, des rectangles qui seront constamment éteints entre les Nicols croisés.

4°) Le système *monoclinique* possède encore un plan de symétrie g_1 , auquel sera nécessairement perpendiculaire un des axes d'élasticité de la substance, et qui contiendra par conséquent les deux autres. Les axes optiques seront donc situés tantôt dans le plan g_1 , tantôt dans un plan perpendiculaire. Dans tous les cas, les sections de la zone ph_1 s'éteindront parallèlement à cette direction qui est celle d'un axe d'élasticité, et qui leur sert également d'axe

de figure; tantôt les sections perpendiculaires aux axes optiques appartiendront à cette zone, et alors la substance présentera des sections constamment éteintes, symétriques par rapport à deux axes rectangulaires, si l'on suppose qu'elles passent par le centre de gravité du cristal; tantôt au contraire les sections constamment éteintes ne feront pas partie de cette zone et seront généralement dissymétriques.

On a quelques notions sur la zone pg_1 : la face p fait partie de la zone symétrique ph_1 ; l'extinction de la face g_1 est généralement connue par rapport à la trace des clichages faciles; de même pour la zone g_1h_1 .

5°) Le système *triclinique* ne présente plus aucune relation entre la position des axes cristallographiques et celle des axes d'élasticité; on connaît souvent les extinctions suivant quelques faces importantes, p et g_1 , pour les feldspaths; les travaux de M. Des Cloizeaux permettent aussi de repérer avec une précision suffisante, dans la plupart des cas, la position des axes optiques. Les sections circulaires de l'ellipsoïde d'élasticité correspondent généralement à des contours extérieurs dissymétriques.

Telles sont les principales notions élémentaires avec lesquelles on aborde au microscope polarisant, à lumière parallèle, l'étude optique des plaques minces des roches, qui présentent souvent un grand nombre d'individus cristallins de chaque substance, orientés au hasard. Cette orientation variable et indéterminée, en général, est un inconvénient; mais il est en partie compensé par l'avantage du grand nombre d'expériences qu'on peut faire sur chaque minéral.

Nous résumons, dans le tableau ci-joint, ces notions élémentaires, en faisant remarquer que, dans les systèmes à deux axes optiques, les sections constamment éteintes ont des chances de se présenter plus souvent que dans les systèmes à un seul axe optique. Nous avons supposé les

cristaux rapportés à leur forme simple p, m, t, h_1, g_1 ; il conviendra de leur ajouter par la pensée les modifications habituelles dont ils sont susceptibles. Il est facile d'ailleurs de voir que, quel que soit le système cristallin considéré, toutes les zones composées de sections, symétriques par rapport à deux axes de figure rectangulaires, s'éteignent suivant ces deux axes; dans ce cas l'extinction est, à proprement parler, indépendante de la position des axes optiques, et le nombre de ces zones est d'autant plus grand que le système est plus symétrique. Dans le système cubique, toutes les sections satisfont à cette symétrie. Dans les systèmes quadratique et hexagonal, on n'y peut faire rentrer que certaines zones dont les arêtes (*) sont perpendiculaires à l'axe principal et la zone passant par cet axe. Dans le système orthorhombique, les trois zones pg_1, ph_1, g_1h_1 satisfont seules à ces conditions de symétrie; dans le système monoclinique, on ne trouve plus que la zone ph_1 qui soit dans ce cas, et toutes les zones du système triclinique sont dissymétriques.

En résumé, toutes les sections symétriques par rapport à deux axes rectangulaires, et appartenant à une zone composée de pareilles sections, s'éteignent suivant leurs axes de figure. Les sections symétriques par rapport à deux axes rectangulaires et n'appartenant pas à une zone composée de pareilles sections, ne s'éteignent pas en général suivant leurs axes de figure.

Plus les systèmes cristallins sont symétriques, plus ils possèdent de sections du premier genre; moins ils en présentent du second. La réciproque est vraie pour les systèmes dissymétriques.

Ces considérations se déduisent de l'examen des surfaces enveloppées par les plans découpant des rectangles ou des losanges dans un prisme à base de parallélogramme.

(*) Nous appellerons arête d'une zone, la droite à laquelle ses sections restent parallèles.

Caractères de l'élasticité	La position des axes d'élasticité et de figure.	Variation des cristaux.	SECTIONS EN ZONES PARALLÈLES A			SECTIONS quelconques.
			ph_1 .	pg_1 .	g_1h_1 .	
Sphérique.	Toutes les directions peuvent être assimilées à des axes optiques.	cubique.	Toutes les sections, à contours polygonaux réguliers, restent constamment éteintes.			
De révolution (un axe optique).	L'axe de révolution coïncide avec l'axe principal de symétrie, et avec l'axe optique unique.	quadratique.	Il y a extinction constante pour les sections carrées.	Rectangles s'éteignant suivant leurs côtés.		L'extinction a lieu indépendamment à la propriété de la zone symétrique principale du plan de section. Il y a des zones symétriques en dehors des zones précédentes; pour toutes celles dont les arêtes sont perpendiculaires à l'axe principal de la substance, l'extinction se fait suivant le même axe que dans les autres zones de la section.
	Les trois axes d'élasticité coïncident avec les trois axes cristallographiques.	orthorhombique.	Sections hexagonales.	Rectangles ou hexagones allongés symétriques suivant deux axes perpendiculaires s'éteignant suivant leurs côtés ou leurs axes de symétrie.		
	Un axe d'élasticité coïncide avec un axe cristallographique (orthodigonale); les deux autres axes d'élasticité sont dans un plan de symétrie g_1 .	monoclinique	Sections rectangulaires.	Rectangles s'éteignant suivant leurs côtés.		
A 3 axes optiques.	1° axes optiques dans g_1 ; 2° axes optiques dans un plan perpendiculaire à g_1 .	1°	Sections symétriques suivant deux axes rectangulaires.	Sections dissymétriques, sauf p ; se reproduisant symétriquement de part et d'autre de g_1 .	Sections généralement dissymétriques, sauf h_1 ; se reproduisant symétriquement de part et d'autre de g_1 .	La relation entre les angles d'extinction est complexe. Il n'y a plus de zone symétrique en dehors des zones précédentes. La direction de l'extinction est donnée par la trace de la section, des plans successifs de l'angle dièdre formé par les plans passant respectivement par la normale à la section et chacun des axes optiques.
	2° axes optiques dans un plan perpendiculaire à g_1 .	2°	Sections généralement dissymétriques.	Sections généralement dissymétriques, sauf p ; se reproduisant symétriquement de part et d'autre de g_1 .	Sections généralement dissymétriques, sauf h_1 ; se reproduisant symétriquement de part et d'autre de g_1 .	
	Aucune relation nécessaire n'existe entre les axes d'élasticité et les axes cristallographiques.	triclinique.	Sections généralement dissymétriques.	Zones toujours dissymétriques. Les angles à partir de l'axe pg_1 sont respectivement φ et ψ dans les faces g_1 et p .		

On voit, par le tableau qui précède, les lacunes que présente l'emploi du microscope polarisant, au point de vue de la façon dont s'éteignent les sections quelconques; et par exemple pour un cristal monoclinique, si l'on considère une section appartenant à la zone pg_1 , on ne peut nullement affirmer, dans le cas le plus général, que son extinction sera comprise entre 0° , extinction de la face p par rapport à l'arête pg_1 , et φ° , extinction de la face g_1 par rapport à la même arête. Les calculs qui vont suivre prouveront même que, dans bien des cas, l'angle d'extinction passe par un maximum qui peut se trouver fort éloigné des points de départ ou d'arrivée de la zone.

Si l'on considère des cristaux mâclés, comme les pyroxènes ou les feldspaths en présentent si souvent, les causes d'erreurs deviennent encore plus sensibles, et c'est ainsi qu'on est arrivé, dans ces derniers temps, à de fausses interprétations au sujet de la nature des feldspaths tricliniques contenus dans certaines roches, tout en semblant partir des résultats certains et précis dont la science est redevable à M. Des Cloizeaux.

Des angles d'extinction présentés par les sections d'une zone et comptés à partir de l'arête de la zone.

§ 1. On sait que dans le cas le plus général, l'extinction d'une substance douée de deux axes optiques, coupée suivant une section quelconque, se fait parallèlement à la trace sur le plan de section des plans bissecteurs de l'angle dièdre, ayant pour arête la normale à la section et dont les côtés passent par chacun des axes optiques.

Considérons la sphère ayant un rayon égal à l'unité; appelons A, B et Z les traces des deux axes optiques et de l'arête de zone sur cette sphère. On peut toujours choisir ces

traces de telle façon que l'angle $2V$ des axes optiques soit plus petit que $\frac{\pi}{2}$, et que la somme des angles α et β , faits par l'arête de zone Z avec A et B, soit plus petite que π (Pl. VIII, fig. 1).

Supposons que l'arête de zone soit perpendiculaire au plan du tableau et représentons (Pl. VIII, fig. 2) la sphère en projection orthogonale; les traces M des différentes normales aux plans de la zone décriront la circonférence dont Z est le pôle; prolongeons les arcs de grands cercles ZA, ZB jusqu'à cette circonférence, et prenons comme donnée auxiliaire l'angle $2\gamma = AZB$; dans le triangle sphérique AZB, dont les trois côtés (α , β , $2V$) sont connus, on a :

$$\operatorname{tg} 2\gamma = \sqrt{\frac{\sin(p-\alpha)\sin(p-\beta)}{\sin p \sin(p-2V)}}, \quad \gamma \leq \frac{\pi}{2}.$$

Appelons x l'angle du plan mobile de la zone avec le plan bissecteur ZP de l'angle 2γ , et y l'angle cherché d'extinction, c'est-à-dire l'arc de grand cercle Zm, le plan Mm étant le bissecteur de l'angle AMB.

Avec les données de la fig. 2, on a :

$$y = \frac{aZ + bZ}{2}.$$

$$\text{Or } aZ = ZMa = \frac{\pi}{2} - AMa',$$

et dans le triangle sphérique rectangle AMa',

$$\operatorname{tg} AMa' = \frac{\operatorname{tg} Aa'}{\sin Ma'} = \frac{\operatorname{cotg} \alpha}{\cos(x+\gamma)},$$

$$\text{d'où l'on déduit } \operatorname{tg} aZ = \operatorname{tg} \alpha \cos(x+\gamma),$$

$$\text{et de même } \operatorname{tg} bZ = \operatorname{tg} \beta \cos(x-\gamma).$$

Comme $2y = aZ + bZ$, on en déduit, d'après des formules connues,

$$(1) \quad \cotg 2y = \frac{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta \cos(x + \gamma) \cos(x - \gamma)}{\operatorname{tg} \alpha \cos(x + \gamma) + \operatorname{tg} \beta \cos(x - \gamma)} = R;$$

$$(2) \quad \operatorname{tg} y = -R \pm \sqrt{R^2 + 1}.$$

Cette dernière équation donne pour y deux séries de valeurs à angle droit l'une de l'autre.

§ 2. Il s'agit maintenant de discuter la courbe en x , y , et notamment de voir si y passe par des maxima et des minima. Remarquons d'abord qu'en posant $y = \operatorname{arc} \operatorname{tg} z$,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dz}{dx} \frac{1}{1 + z^2}.$$

Donc, entre les valeurs de x pour lesquelles z passe par l'infini, par exemple entre $-\frac{\pi}{2}$ et $+\frac{\pi}{2}$, les maxima et les minima de $\operatorname{tg} y$ correspondront à ceux de y .

Prenons dans l'équation (2) la dérivée de $\operatorname{tg} y = z$.

$$\frac{dz}{dx} = -\frac{dR}{dx} \left(1 \pm \frac{R}{\sqrt{R^2 + 1}} \right).$$

Le second facteur étant nécessairement positif, $\frac{dR}{dx}$ sera nul en même temps que $\frac{dz}{dx}$ et $\frac{dy}{dx}$, et plus généralement sera de signe contraire.

En développant les sinus et les cosinus dans l'équation (1), on obtient :

$$(3) \quad \left\{ \begin{aligned} R &= \frac{(1 + \sin^2 \gamma \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta) - \cos^2 x (\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta)}{\cos x [\cos \gamma (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)] + \sin x [\sin \gamma (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta)]} \\ &= \frac{A + B \cos^2 x}{C \cos x + D \sin x}. \end{aligned} \right.$$

Prenons la dérivée par rapport à x :

$$\frac{dR}{dx} = \frac{BC \sin^2 x - BD \cos x \sin^2 x + (AC - BC) \sin x - (AD + BD) \cos x}{(C \cos x + D \sin x)^2}.$$

Mettons $\cos x$ en facteur et remplaçons $\sin^2 x$ par $\frac{\operatorname{tg}^2 x}{1 + \operatorname{tg}^2 x}$; nous obtiendrons :

$$(4) \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{dR}{dx} &= \frac{\cos x}{(1 + \operatorname{tg}^2 x) (C \cos x + D \sin x)^2} [AC \operatorname{tg}^2 x - \\ &- D(2B + A) \operatorname{tg}^2 x + C(A - B) \operatorname{tg} x - D(A + B)]. \end{aligned} \right.$$

§ 3. Discussion de l'équation (4); facteur :

$$\frac{\cos x}{1 + \operatorname{tg}^2 x} \left(\frac{1}{C \cos x + D \sin x} \right)^2.$$

La recherche des maxima et minima s'opérant seulement entre les valeurs de x pour lesquelles $\operatorname{tg} y$ ne passe pas par l'infini, $(C \cos x + D \sin x)$ est différent de 0, et l'équation

$$C \cos x + D \sin x = 0, \quad \text{d'où} \quad \operatorname{tg} x = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma} \frac{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha}$$

donnera précisément les valeurs de x pour lesquelles y est égal à 0° et à $\pm n \frac{\pi}{2}$.

Le facteur $\frac{\cos x}{1 + \operatorname{tg}^2 x}$ s'annule pour $x = \pm (2n + 1) \frac{\pi}{2}$; mais comme le polynôme en $\operatorname{tg} x$ devient en même temps infini, $\frac{dR}{dx}$ est indéterminé; en mettant en évidence le facteur $\operatorname{tg}^2 x$ et faisant $\operatorname{tg} x = \infty$, $\cos x = 0$ et $\sin x = \pm 1$, on trouve :

$$(5) \quad \frac{dR}{dx} = \pm \frac{AC}{D^2} \quad \text{pour} \quad x = \pm (2n + 1) \frac{\pi}{2}.$$

Remarquons que cette formule permet de calculer facilement, dans certains cas, le signe de $-\frac{dR}{dx}$ et par suite de

$\frac{dy}{dx}$, et de savoir si la courbe en y croît ou décroît, pour

$x = \frac{\pi}{2}$. En effet :

$$A = 1 + \sin^2 \gamma \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta,$$

$$C = \cos \gamma (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta),$$

$$D = \sin \gamma (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta).$$

Comme on sait (§ 1) que $\alpha + \beta \leq \pi$, si α et β sont plus petits que $\frac{\pi}{2}$, A est positif ainsi que C ; D^2 est également positif et la courbe décroît.

La discussion serait moins simple dans le cas où l'on aurait

$$\beta > \frac{\pi}{2} > \alpha, \text{ ou encore } \alpha > \frac{\pi}{2} > \beta.$$

§ 4. *Polynôme en tg x.* — Les valeurs de x données par le polynôme en $\operatorname{tg} x$, égalé à 0, déterminent les points où la tangente à la courbe en y est horizontale et où y passe par des maxima ou des minima :

$$(6) \quad AC \operatorname{tg}^3 x - D(2B + A) \operatorname{tg}^2 x + C(A - B) \operatorname{tg} x - D(A + B) = 0.$$

Dans le cas le plus général, cette équation donne trois racines en x ; elle se simplifie notablement quand C ou D deviennent nuls.

1. $D = \sin \gamma (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) = 0$, 1° $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta$.

§ 5. Supposons d'abord $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta$, $\alpha = \beta$, $C > 0$.

L'arête de zone est comprise dans un plan perpendiculaire au plan des axes optiques, et passant par la bissectrice aiguë et par l'axe d'élasticité moyenne.

L'équation (6) se réduit à

$$(7) \quad A \operatorname{tg}^3 x + (A - B) \operatorname{tg} x = 0.$$

Cette nouvelle équation admet une première solution $\operatorname{tg} x = 0$; la courbe en y a donc sa tangente horizontale en $x = 0$, etc... $x = n\pi$.

Les autres solutions sont données par l'équation

$$\operatorname{tg}^2 x = -\frac{A - B}{A}.$$

Or pour $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta$:

$$A = 1 + \sin^2 \gamma \operatorname{tg}^2 \alpha > 0,$$

$$B = -\operatorname{tg}^2 \alpha < 0.$$

Donc les valeurs déduites de l'équation (7) sont imaginaires, et il n'y a pas d'autres maxima et minima pour y que ceux qui correspondent à $\operatorname{tg} x = 0$.

§ 6. *Tracé de la courbe en x, y.* Pour $x = 0$:

$$\operatorname{cotg} 2y = \frac{A + B}{C} = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha \cos^2 \gamma}{2 \operatorname{tg} \alpha \cos \gamma};$$

d'où (8)

$$\operatorname{tg} y_0 = \operatorname{tg} \alpha \cos \gamma.$$

Pour déterminer si cette valeur est un maximum, cherchons le signe de la dérivée seconde :

$$\text{pour } \frac{dR}{dx} = 0, \quad \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{d^2R}{dx^2} \left(1 \pm \frac{1}{\sqrt{1 + R^2}} \right),$$

$$R = \frac{A}{C} \frac{1}{\cos x} + \frac{B}{C} \cos x; \quad \frac{dR}{dx} = \frac{A}{C} \frac{\sin x}{\cos^2 x} - \frac{B}{C} \sin x.$$

$$(9) \quad \frac{d^2R}{dx^2} = \frac{A}{C} \left[\frac{\cos^3 x + 2 \cos x \sin^2 x}{\cos^4 x} \right] - \frac{B}{C} \cos x.$$

Pour $x = 0$, $\frac{d^2R}{dx^2}$ se réduit donc à $\frac{A - B}{C}$; $A - B$ est toujours positif, α étant nécessairement plus petit que $\frac{\pi}{2}$; C est également positif; y_0 est donc un maximum et

la courbe va en décroissant à partir de $x = 0$. Pour $x = \frac{\pi}{2}$, $y = 0$.

§ 7. L'équation

$$(10) \quad \cotg 2y = \frac{A + B \cos^2 x}{C \cos x}$$

montre que y prend des valeurs égales pour x et $-x$, il y a donc symétrie par rapport aux axes $x = 0$ et en général $x = n\pi$. On voit aussi que y prend des valeurs égales, mais de signe contraire pour x et $\pi - x$; le point $x = \frac{\pi}{2}$, $y = 0$, et les similaires jouent donc ici le rôle de centres.

§ 8. Ces différentes remarques ne suffiraient pas pour donner une idée nette des courbes en xy . Prenons en effet le cas-limite, où l'axe de moyenne élasticité coïnciderait avec l'arête de zone, pour $\alpha = \beta = \frac{\pi}{2}$. Il est clair que y reste égal à 0 ou à $\frac{\pi}{2}$ pour toutes les valeurs de x ; mais il existera deux sections appartenant à cette zone, et perpendiculaires aux axes optiques, pour lesquelles y sera indéterminé.

L'équation (3) convenablement interprétée, donne d'ailleurs cette solution; en effet, dans l'espèce :

$$R = \frac{A + B \cos^2 x}{C \cos x} = \frac{1}{\tg \alpha} + \frac{\tg \alpha (\sin^2 V - \cos^2 x)}{2 \cos V \cos x}$$

$$(11) \quad \text{Car pour } D=0, \sin \gamma = \frac{\sin V}{\sin \alpha}, \text{ et ici } \sin \gamma = \sin V, \gamma = V.$$

On voit que, pour une valeur quelconque de x , $\tg \alpha$ étant égale à l'infini, R est également infini, et y égal à 0 ou

à $\frac{\pi}{2}$. Mais si l'on prend pour x la valeur particulière :

$$\cos^2 x = \sin^2 V \quad \text{ou} \quad x = \frac{\pi}{2} \pm V.$$

R devient indéterminé ainsi que y .

§ 9. Ce fait donne à penser que dans le cas plus général où α est plus petit que $\frac{\pi}{2}$, les droites $x = \frac{\pi}{2} \pm V$ doivent jouer un rôle spécial dans le tracé de la courbe en xy . Ne considérons que les valeurs de x comprises entre 0 et $\frac{\pi}{2}$, et cherchons les diverses valeurs de y pour :

$$\cos^2 x = \sin^2 \gamma \quad \text{ou} \quad x = \frac{\pi}{2} - \gamma,$$

$$\text{alors} \quad R = \frac{1}{\tg \alpha \sin 2\gamma} \quad \text{ou} \quad \tg 2y = \tg \alpha \sin 2\gamma.$$

Nous avons vu plus haut que $\sin \gamma = \frac{\sin V}{\sin \alpha}$; lorsque α varie de V à $\frac{\pi}{2}$, seules valeurs possibles dans l'espèce, γ oscille entre $\frac{\pi}{2}$ et V , les deux valeurs extrêmes de $\tg 2y$ seront donc :

$$\text{Pour } \alpha = V, \quad \gamma = \frac{\pi}{2}, \quad x = 0 \dots \dots \tg 2y = 0 \quad y = 0.$$

$$\text{Pour } \alpha = \frac{\pi}{2}, \quad \gamma = V, \quad x = \frac{\pi}{2} - V \dots \dots \tg 2y = \infty \quad y = \frac{\pi}{4}.$$

Cherchons maintenant si, lorsque α croît entre V et $\frac{\pi}{2}$, y croît régulièrement entre 0 et $\frac{\pi}{4}$, sans passer par des maxima ou des minima.

Des équations $\operatorname{tg} 2y_\gamma = \operatorname{tg} \alpha \sin 2\gamma$ et $\sin \gamma = \frac{\sin V}{\sin \alpha}$, on déduit :

$$\operatorname{tg} 2y_\gamma = \frac{2 \sin V}{\sin \alpha \cos \alpha} \sqrt{\sin^2 \alpha - \sin^2 V} = 4 \sin V \frac{\sqrt{\sin^2 \alpha - \sin^2 V}}{\sin 2\alpha}.$$

Prenons la dérivée par rapport à α :

$$\frac{d(\operatorname{tg} 2y_\gamma)}{d\alpha} = 4 \sin V \frac{\frac{\sin^2 2\alpha}{2 \sqrt{\sin^2 \alpha - \sin^2 V}} - 2 \cos 2\alpha \sqrt{\sin^2 \alpha - \sin^2 V}}{\sin^2 2\alpha}.$$

Dans ces diverses équations, le radical introduit pour remplacer $\cos \gamma$ qui est toujours positif, doit être pris avec le signe + ; $\sin^2 \alpha$ est toujours plus grand que $\sin^2 V$, et par conséquent $\frac{d(\operatorname{tg} 2y_\gamma)}{d\alpha}$ sera de même signe que le polynôme en α obtenu en chassant du dénominateur le radical :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \sin^2 2\alpha - 2 \cos 2\alpha \left(\frac{1 - \cos 2\alpha}{2} - \sin^2 V \right) &= \\ = \frac{1}{2} \left(\cos^2 2\alpha - 2(1 - 2 \sin^2 V) \cos 2\alpha + 1 \right). \end{aligned}$$

En égalant à 0 ce polynôme, on voit qu'il a ses racines imaginaires, car $(1 - 2 \sin^2 V)$ est plus petit que 1, V étant plus petit que $\frac{\pi}{4}$; donc le polynôme en α est positif et $\operatorname{tg} 2y_\gamma$ croît lorsque α croît.

Ainsi y_γ passe de 0 à $\frac{\pi}{4}$, tandis que x_γ croît de 0 à $\frac{\pi}{2} - V$.

§ 10. On voit qu'il résulte des diverses propriétés des courbes en xy qu'elles présentent nécessairement une enveloppe : choisissons comme variable auxiliaire la valeur de $\operatorname{tg} y$ pour $x = 0$:

$$\begin{aligned} z &= \operatorname{tg} y_0 = \operatorname{tg} \alpha \cos \gamma, \\ \sin \gamma &= \frac{\sin V}{\sin \alpha}. \end{aligned}$$

Ces deux valeurs de z et de γ peuvent être vérifiées directement dans le triangle sphérique rectangle ZbA (Pl. VIII, fig. 3), dans lequel

$$\text{angle } ZbA = \frac{\pi}{2}, \quad \text{angle } bZA = \gamma, \quad bA = V, \quad AZ = \alpha.$$

En élevant au carré et remplaçant $\cos^2 \gamma$ par sa valeur en fonction de α et V , on en déduit :

$$(12) \quad \operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{\sin^2 V + z^2}{\cos^2 V}.$$

$$(13) \quad \sin^2 \gamma = \frac{(1 + z^2) \sin^2 V}{\sin^2 V + z^2}.$$

Substituons ces valeurs de α et γ dans l'équation générale,

$$\operatorname{cotg} 2y = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha (\sin^2 \gamma - \cos^2 x)}{2 \cos \gamma \operatorname{tg} \alpha \cos x}.$$

Nous trouverons successivement :

$$\begin{aligned} \operatorname{cotg} 2y &= \frac{1 + \frac{z^2 + \sin^2 V}{\cos^2 V} \left[\frac{(1 + z^2) \sin^2 V}{z^2 + \sin^2 V} - \cos^2 x \right]}{2z \cos x} \\ (14) \quad \left\{ \begin{aligned} \operatorname{cotg} 2y &= z \frac{\sin^2 V - \cos^2 x}{2 \cos x \cos^2 V} + \\ &+ \frac{1}{z} \frac{1 - \cos^2 x \sin^2 V}{2 \cos x \cos^2 V} = Mz + N \frac{1}{z}. \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

Appelons Y les ordonnées de la courbe-enveloppe ; elles satisferont à l'équation obtenue en égalant à 0 la dérivée par rapport à z de $Mz + N \frac{1}{z}$:

$$(15) \quad M - N \left(\frac{1}{z^2} \right) = 0, \quad \text{d'où } z = \sqrt{\frac{N}{M}}.$$

Éliminons z entre les équations (14) et (15), et nous

trouvons enfin pour équation de la courbe-enveloppe cherchée :

$$(16) \left\{ \begin{aligned} \cotg 2Y &= 2\sqrt{MN} = \\ &= \frac{1}{\cos x \cos^2 V} \sqrt{\sin^2 V - \cos^2 x} \sqrt{1 - \cos^2 x \sin^2 V}. \end{aligned} \right.$$

Cette équation montre que, pour les valeurs de $\text{tg } y_0$ positives, et de x comprises entre 0 et $\frac{\pi}{2}$, $\cotg 2Y$ ne peut prendre de valeurs négatives; de plus on a :

$$\sin^2 V - \cos^2 x > 0, \quad \text{ou} \quad x > \frac{\pi}{2} - V.$$

Y devient imaginaire pour des abscisses plus petites que $\frac{\pi}{2} - V$,

et pour $x = \frac{\pi}{2} - V$, on a $Y = \frac{\pi}{4}$.

Cherchons la tangente en ce point : représentons par $P^{\frac{1}{2}}$ et $Q^{\frac{1}{2}}$ les deux radicaux, et remarquons que pour ce point spécial $P = 0$ et $P' > 0$.

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{\cos x \cos^2 V} P^{\frac{1}{2}} Q^{\frac{1}{2}} \right) = \frac{1}{2 \cos^2 V \cos x} \frac{P'}{P^{\frac{1}{2}}} Q^{\frac{1}{2}} = \infty.$$

Comme $\cotg 2Y$ est nulle, la courbe en Y a sa tangente verticale au point $x = \frac{\pi}{2} - V$, $Y = \frac{\pi}{4}$.

Pour $x = \frac{\pi}{2}$, $\cotg 2Y = \infty$, $Y = 0$; cherchons également la tangente à la courbe en Y , en ce point.

$$\text{tg } 2Y = \cos x \cos^2 V F^{-\frac{1}{2}} Q^{-\frac{1}{2}}.$$

On sait que
$$\frac{dY}{dx} = \frac{1}{2} \frac{d(\text{tg } 2Y)}{dx} \left(\frac{1}{1 + \text{tg}^2 2Y} \right).$$

Pour $x = \frac{\pi}{2}$ } $\dots P^{\frac{1}{2}} Q^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sin V}$, $P' = 0$, $Q' = 0$.
 $\text{tg } 2Y = 0$ et $\frac{d(\text{tg } 2Y)}{dx} = -\frac{\cos^2 V}{\sin V}$.

D'où l'on conclut que $\frac{dY}{dx} = -\frac{1}{2} \frac{\cos^2 V}{\sin V} = -\frac{1}{2} \cotg V \cos V$.

§ 11. Ces différentes observations nous permettent de nous rendre compte de la forme des courbes en xy , pour le cas où l'arête de zone est contenue dans le plan de la bissectrice et de l'axe de moyenne élasticité. Elles sont résumées dans la fig. 3, Pl. VIII.

$$2^\circ \sin \gamma = 0.$$

§ 12. Supposons toujours $D = 0$, c'est-à-dire $\sin \gamma (\text{tg } \alpha - \text{tg } \beta) = 0$, mais considérons maintenant le cas où $\sin \gamma = 0$; et comme $\gamma \leq \frac{\pi}{2}$, cela revient à supposer $\gamma = 0$.

L'arête de zone est contenue dans le plan des axes optiques, et se trouve hors de leur plus petit angle.

Les conséquences, déduites dans le § 3, sont encore applicables ici à la recherche des maxima et minima. Les solutions sont encore :

$$\text{tg } x = 0, \quad \text{ou} \quad \text{tg } x = -\frac{A - B}{A};$$

seulement ici $A = 1$, $B = -\text{tg } \alpha \text{tg } \beta$.

Donc, pour qu'il y ait maximum et minimum de y , en dehors des valeurs correspondant à $x = 0$, $x = \pi$, etc., il faut et il suffit que les inégalités suivantes soient satisfaites :

$$(17) \quad \text{tg}^2 x > 0, \quad \text{ou} \quad -\text{tg } \alpha \text{tg } \beta > 1.$$

Comme $\alpha + \beta$ est plus petit que π , la condition précédente exige d'abord que l'un de ces deux angles soit plus grand que $\frac{\pi}{2}$; supposons donc $\alpha < \frac{\pi}{2} < \beta$. Il est facile

de voir que cette condition nécessaire est aussi suffisante. En effet, l'inégalité (17) peut se traduire ainsi qu'il suit :

$$-\operatorname{tg} \beta > \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \quad \text{ou} \quad -\operatorname{tg} \beta > \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right),$$

$$\text{ou} \quad \operatorname{tg} (\pi - \beta) > \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right),$$

$$\text{ou enfin} \quad \pi - \beta > \frac{\pi}{2} - \alpha, \quad \text{c'est-à-dire} \quad \beta - \alpha < \frac{\pi}{2}.$$

Or, lorsque γ est nul, la différence $\beta - \alpha$ est égale au plus petit angle $2V$ fait entre eux par les axes optiques, d'où il résulte que, nécessairement, $\beta - \alpha$ est plus petit que $\frac{\pi}{2}$.

Il y a donc maximum ou minimum pour y entre les valeurs de $x = 0$ et $\frac{\pi}{2}$, lorsque l'arête de zone, étant comprise dans le plan des axes optiques, fait avec l'un d'eux un angle plus grand qu'un droit.

§ 13. Construisons la courbe en xy pour les deux cas possibles $\beta < \frac{\pi}{2}$, $\beta > \frac{\pi}{2}$. Supposons d'abord $\beta < \frac{\pi}{2}$. La valeur initiale de y sera :

$$y_0 = \frac{\alpha + \beta}{2} = \beta - V,$$

et y_0 pourra prendre toutes les valeurs comprises entre V et $\frac{\pi}{2} - V$ (fig. 4, Pl. VIII).

Nous savons que y_0 est un maximum ou un minimum; $\frac{d^2y}{dx^2}$ étant de même signe que $\frac{B-A}{C}$ (§ 6), il est facile de voir que, dans l'espèce, y_0 est un maximum. D'ailleurs les conclusions du § 7 sont applicables ici, et l'on verra plus

loin l'explication du coude brusque que fait la courbe pour les valeurs de x voisines de $\frac{\pi}{2}$, quand y_0 approche de la valeur-limite $\frac{\pi}{2} - V$. Pour $x = \frac{\pi}{2}$, $y = 0$.

§ 14. Supposons maintenant $\beta > \frac{\pi}{2}$; y_0 est toujours égal à $\frac{\alpha + \beta}{2} = \beta - V$ et oscille entre $\frac{\pi}{2} - V$ et $\frac{\pi}{2}$. Il correspond également à une tangente horizontale et à un maximum, car $\frac{B-A}{C}$ est encore ici négatif.

Mais après avoir décriu, la courbe passe par un nouveau point où sa tangente est horizontale, et qui doit nécessairement correspondre à un minimum. On peut d'ailleurs le vérifier directement; ce point correspond (§ 12) à

$$\operatorname{tg}^2 x = \frac{B-A}{A} \quad \text{ou} \quad \cos^2 x = \frac{A}{B}.$$

Portons ces valeurs dans l'équation (9); nous obtenons :

$\frac{d^2y}{dx^2}$ de même signe que

$$-\frac{d^2R}{dx^2} = -\frac{A}{C} \left(\frac{2 - \frac{A}{B}}{\frac{A}{B} \sqrt{\frac{A}{B}}} \right) + \frac{B}{C} \sqrt{\frac{A}{B}},$$

équation dans laquelle nous ne considérerons que les valeurs de x comprises entre 0 et $\frac{\pi}{2}$, et par conséquent le signe positif du radical. En simplifiant, il vient :

$$-\frac{d^2R}{dx^2} = -2 \sqrt{\frac{A}{B}} \frac{B-A}{C},$$

$A = 1$, $B = -\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta > 1$ (voir l'équation 17), donc $B - A > 0$,
 $C = \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta < 0$; en effet, $\operatorname{tg} \alpha < -\operatorname{tg} \beta$ ou $\alpha < \pi - \beta$.

Il en résulte que $-\frac{d^2 R}{dx^2}$ est positif, et nous avons bien affaire à un minimum.

Puis la courbe croît et pour $x = \frac{\pi}{2}$, y est égal à $\frac{\pi}{2}$. Les

conclusions du § 7 sont d'ailleurs également applicables dans l'espèce (Pl. VIII, fig. 5).

§ 15. Il peut être intéressant de connaître la courbe qui relie entre eux tous les points où y passe par un minimum. Prenons β comme variable auxiliaire.

Pour y minimum...

$$\cos^2 x = \frac{1 - \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}}{1 - \frac{1}{\operatorname{tg}(\beta - 2V) \operatorname{tg} \beta}}$$

Cherchons le sens de la variation de $\cos x$ quand β varie :

$$\begin{aligned} \frac{d(\cos^2 x)}{d\beta} &= \frac{\operatorname{tg} \beta}{\cos^2(\beta - 2V)} + \frac{\operatorname{tg}(\beta - 2V)}{\cos^2 \beta} = \\ &= \frac{\sin 2\beta + \sin 2(\beta - 2V)}{2 \sin^2 \beta \sin^2(\beta - 2V)}. \end{aligned}$$

En supposant β différent de 0 et de $\frac{\pi}{2}$, et remarquant que $\beta - 2V$ est toujours différent de 0 et de $\frac{\pi}{2}$, on voit que $\cos x$ passe par un maximum pour

$$\sin 2\beta + \sin 2(\beta - 2V) = 0,$$

$$\text{ou} \quad 2\pi - 2\beta = 2\beta - 4V,$$

$$\text{ou enfin} \quad \beta = \frac{\pi}{2} + V.$$

Ainsi l'abscisse à laquelle correspond le minimum de y décroît jusqu'au moment où l'arête de zone coïncide avec la normale optique; à ce moment on a :

$$\text{pour } y \text{ minimum, } \cos^2 X = \operatorname{tg}^2 V.$$

§ 16. On peut facilement rendre calculable par logarithmes la valeur de y correspondante au minimum constaté plus haut. On a en effet :

$$(18) \left\{ \begin{aligned} \cos x &= \pm \sqrt{\frac{A}{B}} = \pm \sqrt{\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}} \\ \cotg 2y &= \frac{A + B \cos^2 x}{C \cos x} = \frac{2}{C \cos x} = 2 \frac{\sqrt{-\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta} = \\ &= \frac{\sqrt{-\sin 2\alpha \sin 2\beta}}{\sin(\alpha + \beta)}. \end{aligned} \right.$$

§ 17. Un cas-limite intéressant est celui pour lequel $\beta = \frac{\pi}{2}$; on voit immédiatement que les équations (18) donnent alors, pour y minimum :

$$x = \frac{\pi}{2} \quad \text{et} \quad y \text{ minimum} = \frac{\pi}{4}.$$

De plus la valeur générale de $R = \cotg 2y$ devient la suivante pour $\operatorname{tg} \beta = \infty$:

$$\cotg 2y = \frac{1 - \cos^2 x \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}{\cos x (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)} = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta \cos x (\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} + 1)} = \frac{\cos x \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta + 1}$$

et à la limite

$$\cotg 2y = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta \cos x} = \operatorname{tg} \alpha \cos x,$$

$$\alpha = \beta - 2V = \frac{\pi}{2} - 2V.$$

Pour toute valeur de x qui ne rend pas $\cos x$ nul, le

premier terme s'annule et la courbe en xy est donnée par l'équation

$$(19) \quad \cotg 2y = -\cotg 2V \cdot \cos x.$$

Mais pour la valeur $x = \frac{\pi}{2}$, $\cos x$ devient nul et $\cotg 2y$ est indéterminé, quoique pour des valeurs très-rapprochées de $x = \frac{\pi}{2}$, il y ait tendance à la valeur $\cotg 2y = 0$ ou $y = \frac{\pi}{4}$.

On voit donc, comme on pouvait le prévoir *a priori*, que lorsque $\beta = \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire lorsque l'arête de zone se trouve dans le plan des axes optiques et perpendiculaire à un de ces axes, pour $x = \frac{\pi}{2}$, la section est perpendiculaire elle-même à cet axe optique, et fait partie des sections d'élasticité circulaires de la substance; seulement lorsqu'on suit pour arriver à cette indétermination la zone en question, on s'en approche par des valeurs de l'angle d'extinction voisines de $\frac{\pi}{4}$. Cette observation a une grande importance pour les valeurs de β voisines de $\frac{\pi}{2}$, car alors les angles d'extinction de toute la zone sont presque tous compris entre $\frac{\pi}{2} - V$ et $\frac{\pi}{4}$.

Nous pouvons maintenant tracer les courbes en xy , dans le cas où $\gamma = 0$, en tenant compte des diverses déductions qui précèdent (Pl. VIII, fig. 5).

II. $C = 0$, 1°) $\tg \alpha = -\tg \beta$.

§ 18. Supposons maintenant, dans l'équation générale (6), $C = 0$, c'est-à-dire $\cos \gamma (\tg \alpha + \tg \beta) = 0$, et d'abord nous admettrons que

$$\tg \alpha = -\tg \beta = \tg(\pi - \beta), \quad \alpha = \pi - \beta.$$

Il est facile de voir (Pl. VIII, fig. 6) que, dans de pareilles conditions, l'arête de zone est contenue dans un plan perpendiculaire au plan des axes optiques et passant par la bissectrice de l'angle obtus de ces axes ou normale optique, d'une part, par l'axe d'élasticité moyenne, de l'autre.

L'équation (6) se réduit à

$$(A + 2B) \tg^2 x + (A + B) = 0.$$

Les racines sont évidemment imaginaires, car

$$A = 1 - \sin^2 \gamma \tg^2 \alpha,$$

$$B = \tg^2 \alpha,$$

$$A + B = 1 + \tg^2 \alpha (1 - \sin^2 \gamma),$$

$$A + 2B = 1 + \tg^2 \alpha (2 - \sin^2 \gamma).$$

Il n'y a donc ni maximum, ni minimum, du fait du polynôme (6); mais pour $x = \pm \frac{\pi}{2}$ [§ 3, équation (5)], on sait que $\frac{dR}{dx}$ prend une vraie valeur égale à $\pm \frac{AC}{D^2}$, valeur qui devient nulle avec $C = 0$; il y a donc là un point où la courbe en xy a sa tangente horizontale; cherchons en ce point le signe de la dérivée seconde pour déterminer si c'est un maximum ou un minimum.

$$\frac{d^2y}{dx^2} \text{ de même signe } - \frac{d^2R}{dx^2} \dots R = \frac{A + B \cos^2 x}{D \sin x},$$

$$\frac{dR}{dx} = \frac{BD \cos^3 x - (2BD + AD) \cos x}{D^2 \sin^2 x}$$

$$-\frac{d^2R}{dx^2} = \frac{1}{D^2 \sin^4 x} \left[D^2 \sin^2 x [(2BD + AD) \sin x - 3BD \cos^2 x \sin x] - 2D^2 \sin x \cos x [BD \cos^3 x - (2BD + AD) \cos x] \right].$$

Pour $x = \frac{\pi}{2}$, $\cos x = 0$, $\sin x = 1$,

$$-\frac{d^2R}{dx^2} \text{ est donc de même signe que } -D(2B + A).$$

Or $2B + A = 1 + \tg^2 \alpha (1 + \cos^2 \gamma) > 0$.

Il reste à chercher le signe de $-D = -2 \sin \gamma \operatorname{tg} \alpha$.

Si donc on suppose $\alpha < \beta$, comme $\alpha + \beta = \pi$, α sera plus petit que $\frac{\pi}{2}$ et $\operatorname{tg} \alpha$ sera positive; $-D$ sera donc négatif et nous aurons affaire à un maximum.

§ 19. *Tracé de la courbe en xy .* — Pour $C = 0$, on a dans le cas le plus général :

$$(20) \quad \cotg 2y = \frac{A + B \cos^2 x}{D \sin x},$$

valeur qui devient infinie pour $x = 0$ et correspond par conséquent à $y = 0$.

Nous avons vu (§ 18) que la courbe croît ensuite jusqu'à $x = \frac{\pi}{2}$ qui correspond à un maximum, dont la valeur est la suivante :

$$(21) \quad \cotg 2y_{\frac{\pi}{2}} = \frac{1 - \sin^2 \gamma \operatorname{tg}^2 \alpha}{2 \sin \gamma \operatorname{tg} \alpha}, \quad \text{d'où} \quad \operatorname{tg} y_{\frac{\pi}{2}} = \frac{\sin \gamma \operatorname{tg} \alpha}{2},$$

valeur qu'on aurait pu d'ailleurs calculer directement.

En changeant x en $\pi - x$, dans l'équation (20), on voit que $\cotg 2y$ ne change pas de valeur; les droites

$$x = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$$

servent donc d'axes de symétrie à la courbe; en changeant x en $-x$, Y change simplement de signe; les points $y = 0$, $x = 2n \frac{\pi}{2}$ servent donc de centres à la courbe.

§ 20. Il se présente pour $\operatorname{tg} \alpha = -\operatorname{tg} \beta$, un cas-limite analogue à celui qui a été traité dans le § 3.

Lorsque $\alpha = \frac{\pi}{2} = \beta$, c'est-à-dire lorsque l'arête de zone se

confond avec l'axe d'élasticité moyenne, on a :

$$\cotg 2y = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} + \operatorname{tg} \alpha (\cos^2 x - \sin^2 V)$$

car alors $\gamma = V$; et comme $\operatorname{tg} \alpha = \infty$, $\cotg 2y$ est également infinie pour toutes les valeurs de x ; y est égal à 0° ou à $\frac{\pi}{2}$,

excepté pour $x = \frac{\pi}{2} \pm V$, auquel cas il y a indétermination.

Les différentes déductions des §§ 8, 9 et 10 s'appliquent pour ainsi dire textuellement au cas présent : dans la recherche de la courbe-enveloppe des courbes en xy , nous choisirons pour inconnue auxiliaire

$$z = \operatorname{tg} y_{\frac{\pi}{2}} = \sin \gamma \operatorname{tg} \alpha.$$

(22)

$$\cos \gamma = \frac{\cos V}{\sin \alpha}.$$

On peut retrouver et vérifier ces deux équations (Pl. VII, fig. 6) par la considération du triangle complémentaire au triangle ZbA , dans lequel

$$bZ = \frac{\pi}{2}, \quad \angle Z = \alpha, \quad bA = V, \quad \text{angle } bZA = \gamma.$$

On en déduit les valeurs suivantes de $\operatorname{tg} \alpha$ et de $\sin \gamma$ en fonction de z et de V :

$$\operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{z^2 + \cos^2 V}{\sin^2 V},$$

$$\sin^2 \gamma = \frac{z^2 \sin^2 V}{z^2 + \cos^2 V}.$$

En substituant ces valeurs à α et γ dans l'équation générale

$$\cotg 2y = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha (\cos^2 x - \sin^2 V)}{2 \sin x \operatorname{tg} \alpha \sin \gamma},$$

nous obtiendrons :

$$\begin{aligned} \cotg 2y &= z \frac{\cos^2 x - \sin^2 V}{2 \sin x \sin^2 V} + \frac{1}{z} \frac{1 - \sin^2 x \cos^2 V}{2 \sin x \sin^2 V} = \\ &= Mz + \frac{N}{z}. \end{aligned}$$

Appelons Y les ordonnées de la courbe-enveloppe cherchée et éliminons z entre la précédente équation, et la dérivée, par rapport à z, de son second membre, égale à 0; nous aurons :

$$z = \sqrt{\frac{N}{M}} \quad \text{et} \quad \cotg 2Y = 2\sqrt{MN},$$

d'où enfin :

$$(23) \quad \cotg 2Y = \frac{1}{\sin^2 V \sin x} \sqrt{\cos^2 x - \sin^2 V} \sqrt{1 - \sin^2 x \cos^2 V}.$$

Cette équation montre que pour les valeurs de $\text{tg } y_{\frac{\pi}{2}}$ positives, et de x comprises entre 0 et $\frac{\pi}{2}$, $\cotg 2Y$ ne prend pas de valeurs négatives; de plus, on voit Y devenir imaginaire pour des valeurs de x supérieures à $\frac{\pi}{2} - V$, et pour $x = \frac{\pi}{2} - V$, on a $Y = \frac{\pi}{4}$.

Cherchons la tangente en ce point; représentons par $P^{\frac{1}{2}}$, $Q^{\frac{1}{2}}$ les deux radicaux, et remarquons que pour ce point spécial $P = 0$ et $P' \geq 0$.

$$\frac{d(\cotg 2Y)}{dx} = \frac{1}{2 \sin^2 V \sin x} \frac{P'}{P^{\frac{1}{2}}} Q^{\frac{1}{2}} = \infty.$$

Comme $\cotg 2Y$ est nulle, $\frac{dY}{dx}$ doit être également infini et la tangente à la courbe en Y est verticale en ce point.

$$\text{Pour } x = 0, \cotg 2Y = \infty, Y = 0.$$

Cherchons également la tangente à la courbe en ce point :

$$\text{tg } 2Y = \sin x \sin^2 V P^{-\frac{1}{2}} Q^{-\frac{1}{2}}.$$

$$\text{On sait que} \quad \frac{dY}{dx} = \frac{1}{2} \frac{d(\text{tg } 2Y)}{dx} \left(\frac{1}{1 + \text{tg}^2 2Y} \right).$$

$$\text{Pour } x = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} P^{-\frac{1}{2}} Q^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\cos V}, \quad P' = 0, \quad Q' = 0, \\ \text{tg } 2Y = 0 \quad \text{et} \quad \frac{d(\text{tg } 2Y)}{dx} = \frac{\sin^2 V}{\cos V}, \end{array} \right.$$

d'où l'on conclut que

$$(24) \quad \frac{dY}{dx} = \frac{1}{2} \frac{\sin^2 V}{\cos V} = \frac{1}{2} \text{tg } V \sin V.$$

§ 21. Les données qui précèdent permettent de construire les courbes en xy dans le cas où l'arête de zone est dans le plan contenant l'axe d'élasticité moyenne et la normale optique; notons qu'ici l'angle x représente l'angle fait par le plan de la section avec un plan originaire contenant l'arête de zone et la bissectrice; pour $x = \frac{\pi}{2}$, la section coïncide avec le plan principal qui contient l'axe d'élasticité moyenne et la normale optique; il est préférable de prendre ce plan comme origine et, par conséquent, de changer x en $x + \frac{\pi}{2}$ dans tout ce qui précède (Pl. VIII, fig. 7).

$$2^\circ) \quad \cos \gamma = 0.$$

§ 22. Supposons toujours $C = 0$ ou $\cos \gamma (\text{tg } \alpha + \text{tg } \beta) = 0$. Mais admettons maintenant que $\cos \gamma$ est nul, ou que γ est égal à $\frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire 2γ à π .

L'arête de zone est alors contenue dans le plan des axes optiques, comme § 12, mais elle est comprise dans le plus petit angle fait par les axes optiques entre eux.

Comme précédemment, l'équation (6) se réduit à

$$(A + 2B) \operatorname{tg}^2 x + (A + B) = 0.$$

$$\text{Ici } A = 1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta, \quad A + B = 1,$$

$$B = -\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta, \quad A + 2B = 1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta.$$

$A + B$ est donc toujours positif, et il est facile de voir que $A + 2B$ est dans le même cas :

$$1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta > 0, \quad \operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right).$$

Or cette inégalité est toujours vraie, dans l'espèce, car visiblement

$$\alpha + \beta = 2V < \frac{\pi}{2}.$$

Il n'y a donc ni maximum, ni minimum pour y du fait de l'équation (6); mais la vraie valeur de $\frac{d(\operatorname{cotg} 2y)}{dx}$ pour $x = \frac{\pi}{2}$, qui est $\frac{AC}{D^2}$ [§ 3, équation (5)] s'annulera avec C ; la courbe en y aura donc en ce point sa tangente horizontale; d'ailleurs la valeur de $y_{\frac{\pi}{2}}$ sera donnée par l'équation

$$(25) \operatorname{cotg} 2y_{\frac{\pi}{2}} = \frac{A}{D} = \frac{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} \quad \text{d'où} \quad y_{\frac{\pi}{2}} = \frac{\alpha - \beta}{2}.$$

Le signe de $\frac{d^2y}{dx^2}$ sera pour ce point le même que celui de $-D(A + 2B)$, conformément au § 18; nous venons de voir que $A + 2B$ est toujours positif; reste à considérer le signe de $-D = \operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha$; si donc on a $\alpha > \beta$, y est maximum. Pour $\alpha < \beta$, y serait minimum. Dans le premier cas $y_{\frac{\pi}{2}}$ est positif, et dans le second $y_{\frac{\pi}{2}}$ est négatif.

§ 23. Construisons maintenant la courbe en xy , en supposant $\beta > \alpha$.

Pour $x = 0$, $y = 0$; le plan de section coïncide avec un plan passant par l'arête de zone et l'axe d'élasticité moyenne; quand x croît, y devient négatif et passe par un minimum pour $x = \frac{\pi}{2}$; à ce moment y est égal à

$$\frac{\alpha - \beta}{2} = -(V - \alpha),$$

puis conformément aux conclusions du § 19, qui sont également applicables ici, la courbe se reproduit symétriquement par rapport à la droite $x = \frac{\pi}{2}$; les droites $x = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$ sont en effet des axes de symétrie, et les points $y = 0$, $x = 2n \frac{\pi}{2}$, des centres.

Pour rendre aux x une origine commune avec celle que nous leur avons assignée § 12, lorsque, $\sin \gamma$ étant nul, l'arête de zone est située dans le plan des axes optiques, mais en dehors de leur plus petit angle, il nous faut faire partir le plan, qui décrit la zone, du plan des axes optiques, c'est-à-dire reculer ou avancer l'origine des abscisses d'une valeur égale à $\frac{\pi}{2}$; si l'on se reporte à la *fig. 4*, Pl. VIII; on verra que, pour cette nouvelle origine, y doit être positif; il convient donc de reculer ici l'origine des abscisses; l'ordonnée correspondante à cette nouvelle origine correspondra à un maximum et oscillera entre 0° et V ; car sa valeur est $V - \alpha$, et comme $\alpha + \beta = 2V$, pour satisfaire à l'inégalité $\beta > \alpha$, il convient de faire varier α entre V et 0° (Pl. VIII, *fig. 8*).

Résumé. — Les calculs qui précèdent permettent d'aborder le problème de l'extinction d'une série de sections, lorsque ces sections appartiennent à une zone dont l'arête est située dans un des plans principaux d'élasticité de la

substance considérée. Nous avons rapproché (Pl. VIII, fig. 9) l'une de l'autre les fig. 3, 4, 5, 7, 8; et il résulte des différentes données, résumées dans ce croquis, que les diverses extinctions, présentées par des sections appartenant à une même zone, peuvent varier dans des limites extrêmement étendues, suivant la position de l'arête de zone et celle des axes optiques du minéral considéré; il ne suffit donc pas de connaître les extinctions de deux faces principales de la zone pour en induire celle d'une section intermédiaire; car, d'une part, il y a de nombreux cas où la valeur de l'angle d'extinction passe par un maximum, et d'autre part, souvent le point de départ (plan principal d'élasticité) est séparé du point d'arrivée (plan contenant l'arête de zone et le troisième axe d'élasticité) par des extinctions distantes de plus de 45° , lorsqu'on les rapporte à la direction constante de l'arête de zone.

§ 24. *Extinctions rapportées aux traces des plans de clivage facile.* — Jusqu'à présent on a calculé l'angle d'extinction pour une zone donnée, à partir de l'arête de zone; il est souvent plus pratique de chercher à le rapporter à la trace d'un plan de clivage facile sur les diverses sections considérées, ce qui revient : 1°) à chercher la courbe des angles y formés par la trace du plan de clivage fixe sur le plan mobile de la zone, avec l'arête de zone; 2°) à ajouter cette nouvelle courbe en xy sur les diagrammes précédents, en l'orientant convenablement; 3°) à ne plus considérer que la somme ou la différence des ordonnées.

Supposons, comme plus haut, que l'arête de zone soit verticale et se projette en Z; soient ZP (Pl. VIII, fig. 10) l'origine des angles x ; MRSN un plan quelconque, déterminé par l'angle δ fait avec lui par l'arête de zone, et par l'angle ϵ du plan perpendiculaire au plan donné et passant par l'arête de zone, avec l'origine des x .

Considérons un plan quelconque x de la zone; appelons

O le centre de la sphère; il s'agit de calculer l'angle de la droite OS avec OZ, soit dans le triangle sphérique rectangle SZR le côté SZ, étant connus le côté δ de l'angle droit, et l'angle adjacent à l'hypoténuse $RZS = \epsilon - x$.

$$(26) \quad \operatorname{tg} y = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos(\epsilon - x)}.$$

$$\text{On en déduit } \frac{dy}{dx} = -\operatorname{tg} \delta \frac{\sin(\epsilon - x)}{\operatorname{tg}^2 \delta + \cos^2(\epsilon - x)}.$$

On voit qu'il y a maximum ou minimum de y pour $x = \epsilon$; $\frac{d^2 \operatorname{tg} y}{dx^2}$ est visiblement de même signe que $\operatorname{tg} \delta$; on en déduit que $x = \epsilon$ correspond à un maximum de y , si $\delta < \frac{\pi}{2}$, et à un minimum, si $\delta > \frac{\pi}{2}$; d'ailleurs une des valeurs de ce maxi-

mum ou de ce minimum est $y = \delta$; on peut remarquer d'une façon générale que si y , est une des ordonnées de la courbe, $y_1 \pm n\pi$ sera la valeur générale, pour une même abscisse; tandis que la valeur générale, pour les courbes d'extinction précédemment étudiées, serait $y_1 \pm n\frac{\pi}{2}$. Cette observation aura son application lorsqu'il s'agira de combiner les courbes en xy entre elles.

Construisons maintenant la courbe en question : pour $x = 0$, $\operatorname{tg} y = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos \epsilon}$; puis la courbe croît ou décroît suivant que δ est plus ou moins grand que $\frac{\pi}{2}$; nous avons vu que $x = \epsilon$ correspondait à ce maximum ou ce minimum pour lequel y est précisément égal à δ .

Pour

$$x = \frac{\pi}{2}, \quad \operatorname{tg} y_{\frac{\pi}{2}} = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\sin \epsilon}.$$

Pour $x = \frac{\pi}{2} + \varepsilon$, $y = \frac{\pi}{2}$; et en ce point la tangente à la courbe est donnée par la valeur

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \delta \right).$$

On peut remarquer que, en changeant x en $\pi + x$, on trouve pour y des valeurs égales à π diminué des ordonnées correspondant à x ; la seconde portion de la courbe, à partir de $x = \pi$, est donc superposable à la première par une simple rotation de 180° autour de la droite $y = \frac{\pi}{2}$. De plus, en transportant l'origine des abscisses en $x = \varepsilon$, $y = 0$, on voit que la courbe est symétrique par rapport au nouvel axe des y et à tous ceux qui se succèdent à des distances de π (Pl. VIII, fig. 11).

Application pratique à l'étude des principaux minéraux monocliniques et de quelques feldspaths tricliniques.

SYSTÈME MONOCLINIQUE.

PYROXÈNE.

Le pyroxène est un minéral positif, dans lequel le plus petit axe d'élasticité sert toujours de bissectrice à l'angle aigu des axes optiques. Ces derniers sont contenus dans le plan de symétrie g_1 ; on peut négliger ici la dispersion des axes d'élasticité et des axes optiques. Les angles qui ont servi à dresser l'épure de la Pl. VIII, fig. 12, sont dus à M. Des Cloizeaux et se rapportent à un pyroxène diopside :

$2V$ (partie jaune du spectre) = $38^\circ 59'$,
angle de h_1g_1 avec la bissectrice = $38^\circ 44'$,
angle de pg_1 avec la normale optique = $22^\circ 55'$.

D'après M. Tschermak, le premier de ces angles, pour h_1g_1 , varierait de 39° à 54° et le second de $23^\circ 11'$ à $38^\circ 11'$.

Nos propres observations nous permettent d'admettre que dans le plus grand nombre des cas h_1g_1 fait avec la bissectrice un angle voisin de 38° ; tels sont par exemple les pyroxènes des variolites, les diallages des euphotides de la Durance, de plusieurs variétés d'ophites des Pyrénées.

Zone pg_1 . — Dans les données de l'épure, la zone pg_1 part d'une extinction minimum égale à $22^\circ 55'$ dans le plan initial g_1 ; elle passe par un angle d'extinction maximum égal à $28^\circ 24' 40''$, lorsque le plan de zone fait avec g_1 un angle de $67^\circ 14' 6''$, et retombe à 0° pour $x = \frac{\pi}{2}$ quand le plan de zone passe par l'axe d'élasticité moyenne, c'est-à-dire se confond avec p . On voit qu'il y a plus de 67 chances sur 90 pour que les angles d'extinction de cette zone soient compris entre 23° et 28° .

Zone h_1g_1 . — Elle part d'un maximum égal à $38^\circ 44'$ (plan initial g_1) pour décroître graduellement jusqu'à 0° (plan h_1).

Clivages faciles. — Il est intéressant de rapporter sur l'épure le plan de lamellisation h_1 du DIALLAGE; pour la zone h_1g_1 ses traces sont parallèles à l'arête de zone, puisqu'il est parallèle à h_1 . Dans la zone pg_1 , ses caractéristiques sont :

$$\varepsilon = 0, \quad \delta = 105^\circ 49' = \frac{\pi}{2} + 15^\circ 49'.$$

Les extinctions de la zone pg_1 , rapportées aux traces du plan h_1 , partent d'une valeur de $38^\circ 44'$ (plan g_1); le maximum précédemment constaté correspond ici à une valeur de $34^\circ 40' 26''$, de telle façon que pour cette zone, il y a plus de 67 chances sur 90 de trouver des angles d'extinction compris entre 39° et 34° si on les rapporte aux lamelles du diallage. Puis les angles d'extinction tombent brusquement

jusqu'à 0° à mesure que le plan de zone se rapproche du plan p .

Le PYROXÈNE AUGITE, fréquent dans un grand nombre de roches, présente deux clivages très-marqués dans les plaques minces, suivant les faces mm du prisme.

Dans la zone h_1g_1 , leurs traces se confondent avec celle de l'arête de zone. Cherchons leurs caractéristiques ε et δ , pour la zone pg_1 .

Prenons comme toujours l'arête de zone verticale et se projetant en Z. Repérons sur la trace du plan g_1 le point où l'arête h_1g_1 perce la sphère (Pl. VIII, fig. 13). Les plans m passent par ce point et font un angle connu $mg_1 = 136^\circ 27'$ avec g_1 . Dans le triangle sphérique Zh_1R , rectangle en R, on connaît l'hypoténuse $Zh_1 = 105^\circ 49'$, et l'angle $Zh_1R = mg_1 = 136^\circ 27'$; on en déduit :

$$\begin{aligned} \sin \delta &= \sin Zh_1 \sin mg_1 & \delta &= 138^\circ 28' 44'', \\ \operatorname{tg} \varepsilon &= \frac{\operatorname{cotg} mg_1}{\cos Zh_1} & \varepsilon &= 75^\circ 28' 26''. \end{aligned}$$

D'où l'on déduit facilement pour le second plan m :

$$\begin{aligned} \delta' &= \pi - \delta = 41^\circ 31' 16'', \\ \varepsilon' &= \pi - \varepsilon = 104^\circ 31' 34''. \end{aligned}$$

Ici

$$\begin{aligned} y_0 &= \rho h_1 = 105^\circ 49', \\ y_{\frac{\pi}{2}} &= 47^\circ 33' 12'' \quad \text{et} \quad 132^\circ 26' 48''. \end{aligned}$$

On peut suivre sur l'épure Pl. VIII, fig. 14, les divers angles d'extinction que comporte le minéral, si l'on cherche à les rapporter à ses clivages faciles : ils partent dans le plan g_1 d'une valeur commune $38^\circ 44'$; puis, pour un des plans m , l'angle décroît rapidement, passe à 0° au voisinage du plan de la zone faisant environ 45° avec g_1 ; à ce moment avec la trace de l'autre plan m' , l'angle d'extinction est très-grand et voisin de 70° ; puis avec m , cet angle croît

rapidement dans un sens inverse du sens primitif, et pour la face p , on a une extinction bissectrice des traces mm' et égale à $47^\circ 33' 12''$; au delà du plan h_1 , les phases se reproduisent symétriquement par rapport au centre $x = \frac{\pi}{2}$, $y = \frac{\pi}{2}$.

Mâcle habituelle de pyroxène. — La mâcle la plus fréquente, et la seule que nous considérerons ici, est celle qui se produit suivant le plan d'assemblage h_1 , avec axe de rotation perpendiculaire.

1°) Zone h_1g_1 . — L'arête h_1g_1 du premier cristal se confond avec $h'_1g'_1$, arête du second cristal. La bissectrice et les axes optiques de ce second cristal prennent dans le plan $g_1g'_1$ une position symétrique de ceux du premier cristal par rapport à l'arête de zone (Pl. VIII, fig. 15).

La courbe des extinctions du second cristal sera donc simplement symétrique de celle du premier par rapport à l'axe des x , qui représentera la trace de la mâcle et celle des plans h_1g_1 , mm et $h'_1g'_1$, $m'm'$.

2°) Zone pg_1 . — Le cas est plus compliqué, car pg_1 ne correspond pas à $p'g'_1$; il faut donc chercher la place occupée par l'arête de zone pg_1 par rapport aux axes optiques et d'élasticité du second cristal. L'axe de rotation de la mâcle étant toujours perpendiculaire au plan h_1 , prenons pour plan de la figure le plan g_1 (Pl. VIII, fig. 15); il contiendra cet axe de rotation qui sera la perpendiculaire à l'arête h_1g_1 ; il en résulte que la bissectrice b viendra en b' , à $35^\circ 27'$ de l'arête de zone, en sens inverse de b ; reportons-nous maintenant à l'épure générale relative au pyroxène (Pl. VIII, fig. 12); nous y voyons que V est d'environ 29° et que la courbe afférente au second cristal sera voisine de celle que nous avons trouvée pour la zone h_1g_1 , mais en sens inverse, avec des ordonnées négatives. Le plan h_1 se confondant avec h'_1 , conservera sa courbe déjà connue qui représentera également la ligne de mâcle. Ces différentes données sont résumées dans le croquis, Pl. VIII, fig. 16.

Résultats pratiques pour le pyroxène. — 1°) *Augite et Diopside.*

A) Dans les plaques minces de roches éruptives, l'augite se montre tantôt en grains irréguliers, tantôt en cristaux allongés suivant l'arête h_1g_1 ; cet allongement donne à la zone h_1g_1 une importance prédominante. Les sections de l'augite se présentent alors fréquemment sous les formes représentées Pl. VIII, fig. 17; le pointement $b\frac{1}{2}y$ est assez habituel; les clivages mm sont parallèles entre eux et à la longueur de la section; l'angle d'extinction varie d'une façon continue entre 30° (face g_1) et 0° (face h_1).

B) La zone ph , se reconnaît à la symétrie des sections qu'elle présente et à leur extinction suivant la bissectrice des clivages mm ; ces derniers peuvent se couper sous un angle voisin de $\frac{\pi}{2}$; la face h_1 est généralement opposée à l'angle aigu mm , et les faces h_1, g_1 sont beaucoup plus développées que mm (Pl. VIII, fig. 18).

C) La zone pg_1 peut rendre des services dans le cas de certains augites allongés suivant l'arête pg_1 , à la façon de celui de Warwick, cité par M. Des Cloizeaux (Pl. VIII, fig. 19).

Les extinctions restent entre 23° et 28° pour le plus grand nombre des sections et descendent brusquement vers 0° pour les plans de la zone voisins de la face p . Nous renvoyons à la fig. 14 pour la relation compliquée qui existe entre l'angle d'extinction et la trace des clivages faciles mm .

D) Dans les cristaux mâclés, la zone h_1g_1 se reconnaît à l'extinction symétrique de part et d'autre du plan d'assemblage; les clivages $mm, m'm'$ sont parallèles à la ligne de macle; l'angle compris entre les extinctions successives des deux cristaux oscille entre $77^\circ 28'$ et 0° ; les couleurs de polarisation sont les mêmes et ne varient que par leur intensité.

La zone pg_1 n'a ici qu'une valeur théorique; les clivages mm sont respectivement parallèles à $m'm'$. L'extinction successive des deux cristaux comprend un angle qui, entre g_1 et p , part de $12^\circ 32'$, passe par 0° , puis par un maximum voisin de 15° pour retomber enfin à 0° ; les petits angles dominant et cet exemple suffit à donner une idée des précautions qu'il convient de prendre pour juger des angles d'extinction d'une substance donnée (Pl. VIII, fig. 16).

2° *Diallage.* — Le diallage présente rarement des contours extérieurs réguliers; aux clivages mm parfois peu marqués s'ajoute une lamellisation régulière suivant le plan h_1 . A partir de cette direction, les sections en zone suivant h_1g_1 s'éteignent de $38^\circ 44'$ à 0° ; la zone ph , donne des extinctions constamment égales à 0° ; la zone pg_1 , présente de nombreuses sections dans lesquelles les extinctions restent comprises entre $38^\circ 44'$ et 35° ; les autres sont comprises entre 35° et 0° . On voit que les angles de 35° à 39° peuvent être considérés comme caractéristiques de nombreuses sections dans le diallage.

AMPHIBOLE.

L'amphibole est un minéral négatif dans lequel le plus grand axe d'élasticité sert toujours de bissectrice à l'angle aigu des axes optiques. Ces derniers sont contenus dans le plan de symétrie g_1 . On peut considérer ici comme négligeable la dispersion des axes optiques et des axes d'élasticité; M. Des Cloizeaux donne pour 2V les nombres suivants :

<i>Tremolite</i> (la chaux domine sur le fer)	} rayons rouges. $87^\circ, 22'$ partie jaune du spectre. $88^\circ, 16'$
<i>Actinote</i> (chaux et fer en proportions comparables) provenant du Saint-Gothard.	
<i>Hornblende</i> (le fer domine sur la chaux) provenant d'un basalte de Bohême (d'après M. Haidinger).	} rayons rouges. $79^\circ 38'$ partie jaune. $80^\circ, 4'$ $79^\circ, 24'$

M. Tschermak croit avoir constaté une liaison directe entre la teneur en fer de l'amphibole et l'angle de ses axes optiques, qui diminuerait dans les variétés foncées, riches en fer.

D'après M. Des Cloizeaux, les différentes variétés d'amphibole présenteraient leur arête g_1h_1 à 15° de la normale optique, et leur arête pg_1 à $29^\circ 58'$ de la bissectrice.

Les observations de M. Fouqué semblent assigner ces angles seulement aux variétés riches en chaux (trémolite et surtout actinote); la hornblende aurait son arête h_1g_1 se confondant à peu près avec la normale optique, et son arête pg_1 à $14^\circ 58'$ de la bissectrice.

M. Rosenbusch (*) donne à la hornblende taillée en lames minces suivant g_1 , des extinctions qui ne dépasseraient pas en général 15° , à partir de h_1g_1 ; il cite cependant plusieurs exemples où ces angles auraient atteint jusqu'à 30° .

D'après notre propre expérience, nous pensons qu'on peut retenir l'angle de 15° pour l'actinote, et que cet angle diminue et peut même devenir nul pour la hornblende.

Zone pg_1 . — D'après les données de l'épure (Pl. IX, fig. 20), l'extinction part d'une valeur initiale maximum, variable entre $29^\circ 58'$ et $14^\circ 58'$, et s'infléchit vers 0° d'autant plus rapidement que le plan de la zone approche davantage de p .

Zone h_1g_1 . — La valeur initiale de l'extinction, qui est un minimum, oscille entre 15° et 0° , suivant qu'on a affaire à de l'actinote ou à de la hornblende; elle passe ensuite par un maximum qui, pour l'actinote, ne dépasse pas $15^\circ 15' 20''$ et correspond au plan de la zone faisant avec g_1 un angle de $38^\circ 18' 25''$; puis il y a décroissance continue jusqu'au plan h_1 dans lequel l'extinction s'effec- tue à 0° de l'arête de zone h_1g_1 .

(*) Mikrosk. Physiographie der Mineralien, page 312.

Id. Mikrosk. Physiographie der massigen Gesteine, 1877, page 261.

Clivages faciles. — 1^o) L'ACTINOTE présente, suivant le plan h_1 , une lamellisation marquée qui rappelle celle du diallage; pour la zone h_1g_1 ses traces sont parallèles à l'arête de zone. Dans la zone pg_1 , ses caractéristiques sont :

$$\varepsilon = 0^\circ, \quad \delta = 104^\circ 58' = \frac{\pi}{2} + 14^\circ 58'.$$

On peut voir d'après l'épure, Pl. IX, fig. 20, que les extinctions de la zone pg_1 , rapportées à la trace h_1 , partent d'une valeur initiale 15° , doivent passer par un maximum voisin de l'angle précédent, conserver longtemps une valeur voisine de 15° , et redescendre assez brusquement à 0° pour les plans de la zone voisins de p .

2^o) La HORNBLLENDE présente, dans les plaques minces, deux clivages très-marqués, plus régulièrement développés que ceux de l'augite, et également suivant les faces mnh du prisme. Dans la zone h_1g_1 , leurs traces se confondent avec celle de l'arête de zone. Cherchons leurs caractéristiques ε et δ pour la zone pg_1 .

Dans le triangle sphérique rectangle RZh_1 (voir page 426), on a :

$$\begin{aligned} \angle h_1 &= 75^\circ 2' & mg_1 &= 62^\circ 6', \\ \text{d'où} & \delta &= 58^\circ 37' 33'', \\ & \varepsilon &= 116^\circ 0' 5'', \\ \text{et} & \delta' &= \pi - \delta = 121^\circ 22' 27'', \\ & \varepsilon' &= \pi - \varepsilon = 63^\circ 59' 55'', \\ \text{d'où} & y_0 &= 104^\circ 58', \\ & y_{\frac{\pi}{2}} &= 61^\circ 16' 28'' \quad \text{et} \quad 118^\circ 43' 32''. \end{aligned}$$

On peut suivre sur l'épure, Pl. IX, fig. 21, les divers angles d'extinction que comporte le minéral, si l'on cherche à les rapporter aux traces de ces clivages faciles. Quand l'angle initial est 0° (l'arête h_1g_1 se confond avec la normale optique), l'extinction se fait à peu près pour toute la

zone suivant la bissectrice des traces de deux clivages mm , et passe dans le plan p par un maximum de $28^{\circ}43'32''$. Quand l'angle initial est de 15° , pour un des plans m l'angle décroît rapidement, passe par 0° , change de sens et atteint pour la face p la valeur $28^{\circ}43'32''$; pour l'autre plan m , l'angle initial de 15° croît d'abord, passe par un maximum dépassant 40° et décroît ensuite jusqu'à la face p , où il est égal à $28^{\circ}43'32''$ et correspond à une extinction bissectrice des deux plans m, m .

Mâcle habituelle de l'amphibole. — La seule que nous considérerons ici est la mâcle suivant h_1 avec axe de rotation perpendiculaire.

1°) *Zone h_1g_1 .* — Conformément à ce qui a été dit à propos du pyroxène (page 427), les courbes d'extinction des deux cristaux sont symétriques par rapport à l'axe des x qui représente la ligne de mâcle. Dans le cas des hornblendes pour lesquelles h_1g_1 se confond avec la normale optique, ces deux courbes elles-mêmes se confondent avec l'axe des x (Pl. IX, fig. 22).

2°) *Zone pg_1 .* — L'axe de rotation de la mâcle étant perpendiculaire à l'arête h_1g_1 , fait avec la bissectrice b du premier cristal (fig. 22) un angle variable entre 15° et 0° ; la bissectrice b' du second cristal est donc amenée, après rotation, à une distance angulaire de b variable entre 30° et 0° .

Il en résulte que, pour l'actinote, la courbe d'extinction du second cristal suit à $2'$ près l'axe des x ; en d'autres termes, le second cristal s'éteint parallèlement à l'arête de zone. Pour la hornblende, au contraire, les deux courbes afférentes aux deux cristaux peuvent arriver à se confondre pour une valeur initiale de l'angle d'extinction égale à $14^{\circ}58'$; les deux cristaux mâclés s'éteignent alors simultanément.

Les plans h_1, h'_1 et la ligne de mâcle sont représentés par la courbe déjà connue du plan h_1 ; on voit que pour l'actinote, elle sert à peu près de bissectrice aux angles

d'extinction, tandis que, pour certaines hornblendes, elle se confond à peu près avec les diverses directions d'extinction (Pl. IX, fig. 23).

Résultats pratiques pour l'amphibole. —

1° Hornblende.

A) Dans les plaques minces de roches éruptives, la hornblende se montre parfois en grains irréguliers, mais plus souvent en cristaux allongés suivant l'arête h_1g_1 ; les faces les plus habituelles sont $m, m, g_1, p, b \frac{1}{2}$. La zone h_1g_1 a donc une importance capitale. L'extinction s'y fait, comme pour la zone ph_1 , suivant la longueur, ou au moins sous des angles très-petits; c'est une des propriétés les plus caractéristiques de la hornblende. On est prévenu qu'on a affaire à une section de cette zone, par le fait que les clivages faciles mm sont parallèles entre eux et à la longueur du cristal (Pl. IX, fig. 24).

B) La zone ph_1 , perpendiculaire au plan de symétrie g_1 , donne des sections en losanges tronqués généralement par g_1 ; ces troncatures sont opposées au plus grand angle mm qui, dans cette zone, peut dépasser 124° .

Les extinctions se font constamment suivant la bissectrice de cet angle (Pl. IX, fig. 25).

C) Les extinctions suivant la zone pg_1 ne sont pas susceptibles d'application pratique; retenons cependant qu'elles se font aussi à peu près suivant la bissectrice des traces des plans de clivage facile.

D) Dans les cristaux mâclés, le fait dominant est que, l'axe de rotation de la mâcle étant très-voisin de la bissectrice, les cristaux mâclés s'éteignent à la limite simultanément et donnent les mêmes couleurs de polarisation, quelle que soit la section. Les plans de clivage $mm, m'm$ restent parallèles deux à deux; les extinctions les plus fréquentes se produisent à peu près suivant leur bissectrice commune. (Pl. IX, fig. 26).

2°) *Actinote*. — A) Dans la zone h_1g_1 , l'extinction restera à environ 15° pendant plus du tiers de la rotation du plan de zone, pour tomber ensuite à 0° dans la face h_1 . Les sections allongées seront fibreuses suivant la trace du plan h_1 , ici parallèle à l'allongement.

R) *Zone* ph_1 . — Les extinctions se feront constamment suivant la trace de h_1 , parallèle à la bissectrice de l'angle obtus mm ; mais il convient de remarquer que l'actinote fibreuse des roches donne rarement des sections aussi nettes que la hornblende.

C) *Zone* pg_1 , difficile à reconnaître; l'angle d'extinction reste longtemps à environ 15° de la trace du plan h_1 , et là encore l'angle de 15° est caractéristique de l'actinote.

D) Dans les cristaux d'actinote mâclés, la zone h_1g_1 , généralement parallèle à la longueur des fibres, est intéressante au point de vue pratique; l'extinction s'y fait symétriquement par rapport à la ligne de mâcle et comprend un angle variable entre 30° (maximum $30^\circ 30' 40''$) et 0° . Les couleurs de polarisation doivent être les mêmes et différer seulement d'intensité.

ÉPIDOTE.

L'épidote est un minéral négatif, dans lequel le plus grand axe d'élasticité sert de bissectrice à l'angle aigu des axes optiques; mais cet angle peut devenir très-grand et s'approcher de 90° . Les axes optiques sont contenus dans le plan de symétrie g_1 ; leur dispersion est tout à fait négligeable, mais leur écartement paraît assez variable avec les échantillons d'épidote étudiés.

D'après M. Miller, en moyenne $2V = 87^\circ 5'$. M. Des Cloizeaux a trouvé :

Pour un cristal de la Caroline du Nord, rayons rouges. . .	$75^\circ, 46'$
— de provenance inconnue, — . . .	$74^\circ, 0'$
— de Suisse — . . .	$87^\circ, 49'$

En somme, $2V$ paraît varier entre 74° et 88° .

L'orientation de la bissectrice, par rapport aux arêtes du cristal primitif est plus constante; Miller la considère comme coïncidant avec l'arête h_1g_1 . Dans une épidote de la Caroline du Nord, M. Des Cloizeaux a trouvé pour cette orientation les angles suivants :

	Angle de l'arête pg_1 avec la normale optique.	Angle de l'arête h_1g_1 avec la bissectrice.
Rayons rouges. . .	$27^\circ, 47'$	$2^\circ, 20'$
— verts. . .	$27^\circ, 9'$	$2^\circ, 42'$
— bleus. . .	$26^\circ, 43'$	$1^\circ, 16'$

Il y a donc une dispersion sensible des axes d'élasticité; mais elle est négligeable dans la lumière parallèle.

Zone h_1g_1 . — L'épure, Pl. IX, fig. 27, rend compte de la courbe afférente à cette zone; la valeur initiale de l'ordonnée ne dépasse pas $2^\circ 20'$ et descend jusqu'à 0° sans passer par un maximum; l'extinction dans cette zone est donc toujours très-voisine de l'arête de zone elle-même.

Zone pg_1 . — L'angle d'extinction part d'une valeur initiale minimum égale à $27^\circ 47'$; il passe ensuite par un maximum de valeur très-voisine (dans un des exemples fournis par M. Des Cloizeaux, $2V = 75^\circ 46'$; le maximum est alors égal à $29^\circ 10'$ pour $x = 51^\circ 10'$), puis redescend vers 0° , lorsque le plan de zone, s'éloignant de g_1 , approche de p .

La courbe est légèrement variable avec les diverses valeurs de V ; il est intéressant de savoir comment cette variation se produit, et comment se disposent les différentes courbes en xy qui ont une origine commune y_0 , pour $x = 0$. Dans ce but, nous remarquerons que la zone pg_1 a son arête située dans le plan des axes optiques, hors de leur plus petit angle; c'est le cas du § 12; $\sin \gamma = 0$.

§ 25. Cherchons à exprimer y en fonction de x , y_0 et V , dans l'équation convenant à ce cas :

$$\cotg 2y = \frac{1 - \cos^2 x \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}{\cos x (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)}$$

$$\begin{aligned} \beta - \alpha &= 2V & \text{d'où} & \alpha = y_0 - V. \\ y_0 &= \alpha + V & & \beta = y_0 + V. \end{aligned}$$

On en déduit :

$$\begin{aligned} \cotg 2y &= \frac{1 - \operatorname{tg}^2 y_0 \operatorname{tg}^2 V - \cos^2 x (\operatorname{tg}^2 y_0 - \operatorname{tg}^2 V)}{2 \cos x \operatorname{tg} y_0 (1 + \operatorname{tg}^2 V)} = \\ &= \frac{A + B \operatorname{tg}^2 V}{C(1 + \operatorname{tg}^2 V)}. \end{aligned}$$

Pour une même valeur x de l'abscisse, voyons comment varie y pour un accroissement dV :

$$\frac{d \cdot \cotg 2y}{dV} = \frac{2 \operatorname{tg} V}{\cos^2 V (1 + \operatorname{tg}^2 V)^2} \frac{B - A}{C}.$$

Ici

$$\begin{aligned} A &= 1 - \cos^2 x \operatorname{tg}^2 y_0, \\ B &= \cos^2 x - \operatorname{tg}^2 y_0, \\ B - A &= \cos^2 x (1 + \operatorname{tg}^2 y_0) - (1 + \operatorname{tg}^2 y_0) < 0, \\ C &= 2 \cos x \operatorname{tg} y_0 > 0. \end{aligned}$$

L'inspection de cette dérivée suffit pour voir que sauf les cas où

$$\begin{aligned} B - A &= 0, \text{ c'est-à-dire } x = 0, \\ C &= 0 \quad \text{ » } \quad x = \frac{\pi}{2}; \end{aligned}$$

$\cotg 2y$ décroît constamment lorsque V croît; y croît donc pour un accroissement positif de V ; les courbes se succèdent régulièrement sans se couper entre $x = 0$ et $\frac{\pi}{2}$, seulement il convient de remarquer que dans l'épure, Pl. IX, fig. 27, le sens positif des y est dirigé de haut en bas; les nombres déjà données pour suivre les extinctions de la zone pg , sont en effet complémentaires de y , ce qui est licite, puisqu'il existe constamment deux directrices d'extinction à angle droit, pour chaque section considérée.

Clivages faciles de l'épidote. — L'épidote possède un clivage facile suivant p , imparfait suivant h_1 .

1°) Le *clivage p* est parallèle à l'arête de zone dans la zone pg_1 . Ses caractéristiques dans la zone h_1g_1 sont :

$$\varepsilon = 0, \quad \delta = 64^\circ 33'.$$

Les extinctions de cette zone, rapportées aux traces p , oscillent donc entre $27^\circ 47'$ et 0° .

2°) Le *clivage h₁* est parallèle à l'arête de zone dans la zone h_1g_1 . Ses caractéristiques, pour la zone pg_1 , sont précisément les mêmes que ci-dessus :

$$\varepsilon = 0, \quad \delta = 64^\circ 33',$$

de telle sorte que les traces imparfaites de ce clivage se tiennent toujours fort près de la direction d'extinction de cette zone (Pl. IX, fig. 27).

Résultats pratiques pour l'épidote. — A) Les cristaux sont généralement allongés suivant l'arête ph_1 ; sa zone est donc de beaucoup la plus importante; elle donne constamment des extinctions parallèles à la longueur; les traces du clivage facile p sont également parallèles à cette longueur (Pl. IX, fig. 28).

B) La zone pg_1 donne suivant les sections allongées, voisines de p , des extinctions voisines de 0° ; puis lorsque le plan de zone se rapproche de g_1 , les sections se raccourcissent et les extinctions, rapportées à la trace du seul clivage facile p , prennent et gardent longtemps des valeurs voisines de 29° . Le clivage difficile h_1 est voisin de l'extinction (Pl. IX, fig. 29).

C) La zone h_1g_1 donne des résultats analogues et des extinctions oscillant entre 28° et 0° par rapport à la trace p .

SPHÈRE.

Le sphère est un minéral positif, dans lequel le plus petit axe d'élasticité sert toujours de bissectrice à l'angle

aigu des axes optiques. Ces derniers sont dans le plan de symétrie g_1 et subissent une forte dispersion que nous ne pouvons pas négliger même dans la lumière parallèle.

M. Des Cloizeaux a trouvé dans des cristaux du Tyrol, pour l'écartement apparent des axes optiques :

	1 ^{er} exemple.	2 ^e exemple.
Rayons rouges.	$2E = 53^\circ \text{ à } 53^\circ 30'$	$55^\circ \text{ à } 56^\circ$
— verts.	$46^\circ \text{ à } 47^\circ$	$49^\circ \text{ à } 50^\circ$
— bleus.	$32^\circ 27'$	$34^\circ \text{ environ.}$

La valeur $\beta = 1.905$ pour les rayons rouges, permet de calculer l'écartement réel $2V$ pour ce cas par la formule $\sin E = \beta \sin V$, d'où $2V = 27^\circ 49' 14''$, en moyenne.

Quant aux autres rayons, on peut seulement induire que l'écartement réel des axes optiques qui leur correspondent est sensiblement plus petit.

Les axes d'élasticité ne subissent pas de dispersion appréciable; leur position a été approximativement déterminée par M. Des Cloizeaux : la bissectrice est perpendiculaire à la face o_2 qui, appartenant à la zone ph_1 , fait un angle de $140^\circ 45'$ avec h_1 . Il en résulte que l'arête h_1g_1 fait un angle de $39^\circ 17'$ avec la normale optique, et l'arête pg_1 un angle de 21° avec le même axe (Pl. IX, fig. 30).

Zones pg_1 et h_1g_1 . — Ces zones présentent toutes deux des exemples du passage des angles d'extinction par toutes les valeurs possibles; elles conservent pendant une assez longue période leur valeur initiale minimum d'extinction au voisinage de g_1 , valeur respectivement égale à 21° pour pg_1 et $39^\circ 17'$ pour h_1g_1 ; puis elles remontent vers 90° pour les plans voisins de p ou de h_1 . Dans la zone h_1g_1 , les clichés $m m$, relativement faciles pour le sphène, sont parallèles à l'arête de zone, et l'extinction se fait de 0° à 45° à partir de leurs traces.

Ici la dispersion des axes n'est plus négligeable, et, conformément au § 25, les angles d'extinction sont plus petits pour les rayons rouges que pour les violets. Il y a même

une série de sections éloignées de g_1 et voisines de p dans la zone pg_1 , où il ne doit plus y avoir, à proprement parler, extinction dans la lumière blanche, mais succession de couleurs différentes.

Plan o_2 . — La face o_2 étant souvent très-développée, les sections du sphène pourront être allongées suivant sa trace. Ses caractéristiques dans la zone pg_1 sont :

$$\varepsilon = 0, \quad \delta = \pi - 21^\circ = 159^\circ,$$

et dans la zone h_1g_1

$$\varepsilon = 0, \quad \delta = \pi - 39^\circ 17' = 140^\circ 43'.$$

Résultats pratiques pour le sphène. A) zone ph_1 .

— Le sphène présente des formes allongées suivant la perpendiculaire à l'arête ph_1 située dans la face o_2 , perpendiculaire qui se confond avec l'arête g_1o_2 ; cet allongement ôte une importance prédominante à la zone ph_1 ; l'extinction se fera suivant la bissectrice des arêtes $e\frac{1}{2}$, dans les losanges souvent allongés que comporte cette zone (Pl. IX, fig. 31).

B) La zone g_1o_2 présentera des propriétés optiques et des sections analogues. L'extinction s'y fera constamment suivant l'arête g_1o_2 , parallèle à la normale optique.

C) La zone pg_1 comprendra les faces $e\frac{1}{2}$ fréquentes dans le sphène; il convient de rapporter les extinctions de cette zone aux traces du plan o_2 qui constitueront souvent les côtés allongés des sections (Pl. IX, fig. 32).

Ces extinctions partiront de 0° dans le plan g_1 , pour passer par des valeurs relativement minimales et retourner à 0° dans le plan p . Les sections voisines du plan p ne donneront pas, à proprement parler, une extinction dans la lumière blanche, mais bien une série de couleurs, le violet s'éteignant sous des angles plus petits que le rouge.

D) Dans la macle habituelle du sphène, suivant la face h_1 avec axe de rotation perpendiculaire, la zone ph_1 du pre-

mier cristal se confond avec $p'h_1$ du second; il en résulte pour cette zone une extinction simultanée des deux cristaux mâclés, suivant la longueur et la ligne de macle (Pl. IX, fig. 33).

ORTHOSE.

L'orthose est un minéral négatif dans lequel le plus grand axe d'élasticité sert toujours de bissectrice aux axes optiques. Ces derniers occupent une position variable avec les différentes espèces d'orthose, et dans un même échantillon avec la température. De plus leur dispersion n'est pas toujours négligeable et peut devenir très-forte, notamment dans certaines espèces d'orthose vitreux.

On doit à M. Des Cloizeaux la découverte de la corrélation qui existe entre la température et la position des axes optiques de l'orthose; à mesure que la température croît, ces axes, généralement situés dans un plan perpendiculaire à g_1 , se rapprochent l'un de l'autre, puis se confondent en un seul et passent ensuite dans le plan de symétrie g_1 , dans lequel la déformation peut devenir définitive si la température a été suffisamment élevée. Les limites entre lesquelles ces variations ont lieu sont très-éloignées: ainsi l'orthose adulaire du Saint-Gothard a ses axes optiques dans un plan perpendiculaire à g_1 (orthose non déformé) et faisant entre eux un angle $2V$ d'environ 69° ; l'orthose de Wehr chauffé à $342,5$ centigrades (déformé) a ses axes optiques dans g_1 , faisant entre eux un angle de $2V$ de 64° . Ce même orthose, à la température ordinaire $18,7$ centigrades, n'était pas déformé et possédait un angle $2V$ (rayons rouges) = $15^\circ 34'$; c'est à $42,5$ centigrades que $2V$ devient nul pour les rayons rouges et que l'orthose de Wehr se transforme ainsi en une substance à un axe optique. Dans ce qui suit, il conviendra donc de prévoir une grande variation dans la position et dans l'angle des axes optiques, et nous prendrons

pour limites de cette variation les positions extrêmes définies par M. Des Cloizeaux dans son *Manuel de minéralogie*:

Dans le plan g_1 (orthose déformé). $2V = 64^\circ$
 Dans le plan perpendiculaire à g_1 (orthose non déformé). $2V = 69^\circ$

La dispersion des axes optiques est aussi variable que leur position. Cependant on peut lui formuler une loi générale: pour les orthoses non déformés, l'angle $2V$ des rayons rouges est plus grand que celui des rayons violets, $\rho > v$; l'inverse a lieu pour les orthoses déformés. L'adulaire du Saint-Gothard présente une dispersion des axes optiques qui ne dépasse pas 2° dans l'air. D'après M. Des Cloizeaux, l'orthose vitreux de Wehr peut à 18° centigrades présenter une dispersion telle que les axes rouges sont encore dans un plan perpendiculaire à g_1 , et font un angle réel $2V = 13^\circ 34'$, tandis que les axes bleus sont situés dans g_1 et écartés de $2V = 11^\circ 51'$. M. Heusser cite dans l'orthose vitreux de Rockeskyll des dispersions atteignant 7 et 8° d'amplitude. On peut rapporter à cette cause l'impossibilité qu'on éprouve à éteindre certains orthoses vitreux dans la lumière blanche parallèle.

La position des axes d'élasticité dans l'orthose est relativement peu variable; leur dispersion est ici négligeable. On peut admettre que la bissectrice se trouve à une distance angulaire moyenne de 5° (4° à 6°) de l'arête pg_1 . L'arête h_1g_1 se trouve ainsi à une distance de $21^\circ 7'$ de la normale optique (orthoses déformés) ou de l'axe d'élasticité moyenne (orthoses non déformés).

Il serait du plus haut intérêt de pouvoir déterminer, dans les plaques minces de roches éruptives, sinon avec précision, du moins approximativement, la position des axes optiques de l'orthose. D'après les recherches de M. E. Weiss, les variétés peu déformées dominant de beaucoup dans les granites, les gneiss, certains trachytes et même

certaines dolérites; les variétés déformées seraient plus fréquentes dans les porphyres, les pechsteins, les liparites et la plupart des laves volcaniques modernes.

Mais il est bien évident que la température n'est pas la seule cause qui agisse sur la grandeur relative des axes d'élasticité de l'orthose, et par suite sur la position de ses axes optiques, et que même des déformations qui nous paraissent définitives peuvent varier à la longue et revenir à un état d'équilibre antérieur.

Zone pg₁. — L'épure, Pl. X, fig. 34, rend compte de la courbe en *xy*, afférente à cette zone. La valeur initiale maximum de *y* ne dépasse pas en moyenne 5°, et l'angle d'extinction descend ensuite jusqu'à 0°; comme la nature de la courbe ne varie pas, lorsque la position des axes optiques change, et que ce changement n'introduit pas de nouveaux maxima ou minima, il suffit de retenir que pour cette zone, dans tous les cas, l'angle d'extinction varie entre 5° et 0°.

Zone h₁g₁. — Tout autre est la variation de la zone *h₁g₁*; à l'origine, dans le plan *g₁*, la normale optique est à 21°7' de l'arête de zone.

I. Tant que l'orthose n'est pas déformé, c'est-à-dire tant que les axes optiques sont hors du plan *g₁*, la courbe est du genre de celles qui ont été étudiées § 5, pour $\alpha = \beta$; on sait que, pour ces courbes, entre $x = 0$ et $x = \frac{\pi}{2}$, il n'y a ni maximum ni minimum, mais bien une forte inflexion au voisinage de $x = \frac{\pi}{2} - V$, et à partir de là une courbe-enveloppe dont l'ordonnée décroît de $\frac{\pi}{4}$ à 0, pour la variation correspondante de l'abscisse entre $\frac{\pi}{2} - V$ et $\frac{\pi}{2}$.

Supposons que nous ayons d'abord affaire à l'orthose du Saint-Gothard ($2V = 69^\circ$). L'extinction rapportée à l'axe

d'élasticité moyenne partira du minimum 21°7', puis croîtra d'abord lentement, ensuite très-rapidement, dépassera 45°, et, pour le plan de la zone faisant avec *g₁* un angle de 55° 30' ($\frac{\pi}{2} - V$), atteindra 55° 52'; pour les plans de zone

voisins de *h₁*, l'extinction se rapprochera de $\frac{\pi}{2}$.

§ 26. Prenons maintenant l'orthose de Wehr chauffé à 42° 5' centigrades; on sait que ses deux axes optiques se sont réunis en un seul, du moins pour les rayons rouges. Pour ce cas-limite, l'équation de la courbe se réduit à

$$\operatorname{tg} y = \operatorname{tg} \alpha \cos x, \quad \alpha = \beta = y_0,$$

$$\text{d'où} \quad \frac{dy}{dx} = - \frac{\operatorname{tg} \alpha \sin x}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha \cos^2 x},$$

$$\text{et pour} \quad x = \frac{\pi}{2}, \quad \frac{dy}{dx} = - \operatorname{tg} \alpha.$$

La courbe ne présente plus de point d'inflexion entre $x = 0$ et $x = \frac{\pi}{2}$.

§ 27. Avant de terminer le cas des orthoses non déformés, nous remarquerons que les courbes s'y succèdent régulièrement, de telle façon qu'en rapportant à l'origine l'extinction à la bissectrice, pour une même abscisse, les ordonnées croissent en même temps que *V* décroît.

En effet, l'équation (14), § 10, nous donne, pour $z = \operatorname{tg} y_0$:

$$\operatorname{cotg} 2y = \frac{(1 - z^2 \cos^2 x) + \sin^2 V (z^2 - \cos^2 x)}{2z \cos x \cos^2 V} = \frac{A + B \sin^2 V}{C \cos^2 V},$$

$$\text{d'où} \quad \frac{d(\operatorname{cotg} 2y)}{dV} = \frac{2 \sin V (A + B)}{C \cos^3 V}.$$

Le signe de cette dérivée est donc le même que celui de $A + B = (1 - \cos^2 x)(1 + z^2) > 0$; $\operatorname{cotg} 2y$ croît donc constamment avec *V*, et *y* décroît de même.

II. Considérons le cas des orthoses déformés; les axes optiques sont situés dans le plan g_1 , qui contient également l'arête de zone h_1g_1 . L'angle $2V$ des axes est d'abord très-petit et les conclusions du § 13 sont applicables ici: $\gamma = 0$, $\beta < \frac{\pi}{2}$. Si l'on rapporte les extinctions initiales à la normale optique, elles croissent constamment entre la valeur initiale $21^\circ 7'$ et $\frac{\pi}{2}$; seulement au fur et à mesure que V augmente, les courbes se coudent de plus en plus au voisinage du plan g_1 .

A $162^\circ 5'$ centigrades, l'orthose de Wehr a ses axes optiques écartés de 42° ; β est donc égal à $\frac{\pi}{2}$ et nous trouvons ici une application du cas-limite étudié § 17: la courbe se compose d'une branche donnée par l'équation

$$\cotg 2y = - \cotg 2V \cos x$$

et de la droite $x = \frac{\pi}{2}$.

Puis V continuant à augmenter, β devient plus grand que $\frac{\pi}{2}$, et la courbe présente entre $x = 0$ et $x = \frac{\pi}{2}$ un maximum.

Ce maximum, d'abord très-marqué et voisin de $\frac{\pi}{4}$, pour des plans eux-mêmes très-voisins de h_1 , diminue à mesure que V augmente; pour $V = 32^\circ$ (orthose de Wehr chauffé à $342^\circ 5'$ centigrades), le minimum initial étant toujours de $21^\circ 7'$, le maximum atteint $24^\circ 12' 6''$ et correspond au plan de zone faisant avec g_1 un angle de $59^\circ 25' 42''$.

Dans le cas des orthoses déformés, pour une même abscisse, la valeur des ordonnées, rapportées primitivement à la bissectrice, croît constamment avec V , conformément aux conclusions du § 25.

Notons que la dispersion des axes optiques pouvant être ici très-sensible, l'extinction primitivement rapportée à la normale optique se fera plus vite pour les rayons violets que pour les rayons rouges.

§ 28. Les variations extrêmes des courbes afférentes à la zone h_1g_1 , étant en relation avec la position des axes optiques dans l'orthose, on peut réciproquement induire des extinctions de l'orthose à la position de ses axes optiques. Les courbes, Pl. X, *fig.* 34, nous montrent que, pour cette recherche, la zone la plus favorable est h_1g_1 , et dans cette zone il convient de rechercher des plans relativement voisins de h_1 . Des équations § 25 et § 27, on déduit les valeurs suivantes de V en fonction de $z = \tg y_0$, x et y , où V_1 représente la valeur de V quand les axes optiques sont dans un plan perpendiculaire à g_1 , et V_2 cette même valeur quand les axes optiques sont dans g_1 .

$$\sin^2 V_1 = - \tg^2 V_2 = \frac{2z \cotg 2y \cos x + z^2 \cos^2 x - 1}{2z \cotg 2y \cos x + z^2 - \cos^2 x}$$

Il convient de remarquer que cette valeur ne s'applique pas aux cas où $x = 0$ et $x = \frac{\pi}{2}$.

Plans de clivages faciles. — Les traces des plans p et g_1 de clivages faciles sont parallèles à l'arête de zone dans la zone pg_1 .

Dans la zone h_1g_1 , la trace du plan g_1 est également parallèle à l'arête de zone; le plan p a pour caractéristiques $\delta = 63^\circ 53'$, $\epsilon = 0$.

Mâcles de l'orthose. — 1°) *Mâcle suivant la loi de l'albite.* — L'axe de révolution étant perpendiculaire à la face d'assemblage g_1 , se confond ici avec l'axe moyen ou la normale optique; les ellipsoïdes d'élasticité des deux cristaux mâclés coïncident entre eux et le tout se comporte comme un cristal unique.

2° *Mâcle de Carlsbad.* — Cette mâcle, de beaucoup la plus fréquente, a son axe de révolution parallèle à l'arête h_1g_1 , sa face de composition étant g_1 .

A) *Zone h_1g_1 .* — Cette zone sera commune aux deux cristaux mâclés, h_1g_1 se confondant avec $h'_1g'_1$. Tout sera symétrique par rapport aux plans $h_1h'_1$ et $g_1g'_1$. La courbe des extinctions du second cristal sera donc ici simplement symétrique de celle du premier cristal, par rapport à l'axe des x , qui se confondra avec l'arête de zone, la trace des plans de clivage facile $g_1g'_1$, et celle du plan d'assemblage de la mâcle.

Les clivages faciles pp' feront entre eux des angles variant entre $52^\circ 14'$ (g_1) et 0° (h_1) (Pl. X, fig. 35).

B). *Zone pg_1 .* — L'ellipsoïde d'élasticité prend, comme précédemment, pour le second cristal une position symétrique de la première, par rapport à $h_1h'_1$; mais l'arête de zone pg_1 ne se confond nullement avec $p'g'_1$; elle constitue pour le second cristal une zone dont l'extinction initiale est à $47^\circ 14'$ par rapport à la nouvelle bissectrice, et il convient de suivre sur l'épure générale les courbes auxquelles correspond cette extinction initiale pour les différentes valeurs de V possibles dans l'orthose (Pl. X, fig. 36).

Le plan p' a pour caractéristiques :

$$\epsilon = 0, \quad \delta = 52^\circ 14'.$$

Les plans p , g_1 , g'_1 et la trace du plan de mâcle se confondent avec l'arête de zone.

3° *Mâcle de Baveno.* — On sait que cette mâcle se produit suivant la face $e\frac{1}{2}$ appartenant à la zone pg_1 , avec axe de rotation perpendiculaire, de telle façon que g_1 est perpendiculaire à g'_1 et p à p' .

Prenons l'arête commune pg_1 , $p'g'_1$, perpendiculaire au plan du tableau (Pl. X, fig. 37) et représentons sur la sphère de rayon 1 la place occupée par les axes d'élasticité dans les deux cristaux mâclés. On verra facilement que

le plan tournant de la zone pg_1 est, pour le deuxième cristal, simplement en retard de $\frac{\pi}{2}$, sur les phases présentées par le premier cristal. Dès lors la courbe des extinctions du second cristal s'obtiendra en transportant, de gauche à droite et d'une valeur égale à $\frac{\pi}{2}$, l'origine de la courbe du premier cristal.

On obtient ainsi deux courbes (Pl. X, fig. 38), qui se coupent aux points $(4n + 1)\frac{\pi}{4}$, et pour lesquelles la somme des ordonnées est maximum ou minimum aux points $(4n + 3)\frac{\pi}{4}$, le maximum absolu étant en tout cas bien inférieur à 10° .

Les plans de clivage facile pg_1 , $p'g'_1$ et la ligne de mâcle ont des traces parallèles à l'arête de zone.

Nous ne pouvons aborder l'étude de la zone h_1g_1 dans la mâcle de Baveno, parce que l'arête de zone ne se trouve plus dans un des plans principaux d'élasticité du second cristal.

4° *Mâcle de l'orthose suivant la face p , avec axe de rotation perpendiculaire à p .* — Le plan g_1 se confond avec g'_1 , et l'ellipsoïde d'élasticité du second cristal prend une position symétrique du premier, par rapport au plan commun pp' .

A) *Zone pg_1 .* — La zone pg_1 du premier cristal se confond avec la zone $p'g'_1$ du second, et les courbes d'extinction sont symétriques par rapport à l'axe des x , qui représente la trace des plans p, g_1 , p', g'_1 et par suite la ligne de mâcle (Pl. X, fig. 39).

B) *Zone g_1h_1 .* — Le premier cristal conserve sa courbe habituelle; le second doit être traité comme pour une arête de zone à $31^\circ 7'$ de la normale optique ou de l'axe d'élasticité moyenne; cette arête se confond presque avec la per-

pendiculaire à un axe optique dans le cas de l'orthose de Wehr au maximum de déformation.

L'arête de zone représente la trace des plans de clivage facile $g_1 g'_1$. — Le plan pp' et par suite la ligne de macle conservent la courbe qu'ils possèdent dans le premier cristal. (Voir Pl. X, fig. 34 et 40.)

Résultats pratiques pour l'orthose. — Les cristaux et surtout les microlithes d'orthose sont en général allongés suivant la diagonale inclinée parallèle à pg_1 , ce qui donne à cette zone une importance prédominante, comme d'ailleurs dans tous les feldspaths.

Parfois cependant les faces mm se développent en longueur et la zone $g_1 h_1$ peut être de quelque utilité.

La zone ph_1 est généralement reconnaissable à la symétrie de ses profils (Pl. X, fig. 41).

A) *Zone* pg_1 . — On reconnaît généralement la zone pg_1 à la longueur des sections et au parallélisme des traces de clivage facile p, g_1 . Les extinctions varient entre 5° et 0° , quelle que soit la position des axes optiques, en allant de g_1 à p . Les microlites allongés suivant pg_1 , présentent des sections droites rectangulaires avec clivages parallèles aux côtés, et extinctions également parallèles. On voit fréquemment de pareilles sections dans les microgranulites et dans les micro-pyromérides avec globules à extinction (Pl. X, fig. 42).

B) *Zone* $g_1 h_1$. — Les extinctions sont à peu près communes aux différents orthoses, tant que le plan de zone est voisin de g_1 ; jusqu'à 45° de ce plan initial, les angles d'extinction partant de 21° , augmentent légèrement, d'autant plus vite que l'orthose est moins déformé; mais à partir de là, les orthoses très-déformés passent par un maximum pour retomber à 0° , les autres vont à 90° ; c'est là particulièrement toujours le cas des orthoses non déformés.

La trace du clivage g_1 est parallèle à l'arête de zone et l'on

peut lui rapporter les extinctions précédentes; la trace du clivage p fait avec g_1 des angles variant entre $63^\circ 53'$ (g_1) et 90° (h_1); pour les plans de zone voisins de g_1 , l'extinction se fait de 5° à 0° de la trace du clivage p , puis si l'orthose est très-déformé, les extinctions passent de l'autre côté du clivage p et atteignent un maximum de 8 à 10° pour retomber à 0° dans le plan h_1 . Si au contraire l'orthose est peu déformé, les extinctions, une fois passées du côté opposé, prennent par rapport à p des valeurs rapidement croissantes de 0 à 90° (Pl. X, fig. 43).

C) *Zone* ph_1 . — On est prévenu qu'on a affaire à cette zone par la symétrie de ses profils et parce que les clivages pg_1 s'y croisent constamment à angle droit. Les extinctions ont toujours lieu suivant ces clivages (Pl. X, fig. 44).

Appliquons maintenant ces données aux macles habituelles de l'orthose.

D) *Macle de Carlsbad*. 1°) *Zone* $h_1 g_1$. — Les clivages g_1, g'_1 sont parallèles à la longueur et à la macle; les clivages pp' font entre eux un angle variant entre $127^\circ 46'$ et 180° , et dont les traces g_1 sont les bissectrices (Pl. X, fig. 45).

Tant qu'on reste dans les plans de la zone relativement voisins de $g_1 g'_1$, on en est prévenu par l'angle pp' qui va de 127° à environ 137° ; l'angle compris entre l'extinction des deux cristaux maclés reste alors voisin de $42^\circ 14'$.

Si l'on a affaire à de l'orthose très-déformé, cet angle va de 42° à un maximum variable et redescend ensuite à 0° .

Si l'orthose n'est pas déformé, cet angle va en augmentant de 42° à 180° , très-lentement d'abord, puis très-vite pour les plans voisins de h_1 .

L'extinction se fait d'ailleurs symétriquement par rapport à la macle et les couleurs de polarisation doivent être les mêmes pour les deux cristaux.

2°) *Zone* pg_1 . — Cette zone se reconnaît dans la macle de Carlsbad à ce que, dans un des cristaux, les traces des

deux clivages p et g_1 sont parallèles entre elles et à la ligne de macle; dans l'autre cristal, g'_1 est parallèle à la précédente direction; mais p' fait avec elle un angle variant entre $52^\circ 14'$ (g_1) et 90° (p).

L'extinction part pour le premier cristal de 5° et pour le second de $47^\circ 14'$... différence $42^\circ 14'$. Les deux extinctions se font du même côté de la ligne de macle, puis en se rapprochant de p , les deux extinctions se rapprochent de 0° , avec cette différence que pour l'orthose non déformé la diminution est plus régulièrement progressive que pour l'orthose déformé (Pl. X, fig. 46).

3°) *Zone* ph_1 . — Les cristaux présentent des clivages à angle droit, parallèles entre eux deux à deux; la macle est parallèle au plan $g_1g'_1$ et aux extinctions; les couleurs sont les mêmes.

E) *Macle de Baveno*. — La zone pg_1 y est seule intéressante et d'étude abordable.

Les clivages sont parallèles à la longueur, et les extinctions de chaque cristal sont au maximum à 5° de la longueur. Les phases étant seules différentes, les deux cristaux prennent successivement les mêmes couleurs de polarisation.

Une zone perpendiculaire à $e \frac{1}{2}$ donnerait des extinctions symétriques et des couleurs identiques de part et d'autre de la macle; il est visible que dans cette zone, la section perpendiculaire à la longueur donne des extinctions simultanées des deux cristaux maclés, suivant les plans pg'_1 et $p'g_1$, car cette même section appartient dans chaque cristal à la zone ph_1 , $p'h'_1$ (Pl. X, fig. 47).

F) *Macle suivant p*. — Cette macle est très-rare dans les plaques minces.

1°) *Zone* pg_1 . — Les traces des clivages y sont longitudinales et parallèles à la macle.

Les extinctions sont symétriques par rapport à cette macle, à 10° l'une de l'autre pour le plan $g_1g'_1$, à 0° pour le

plan pp' . Les couleurs de polarisation doivent être les mêmes.

2°) *Zone* g_1h_1 . — Les clivages, encore communs, font entre eux des angles variables entre $63^\circ 53'$ et 90° .

Les extinctions comprennent à l'origine un angle de 10° , qui augmente brusquement pour retomber à 0° dans les orthoses déformés, au voisinage de h_1 . Dans les orthoses non déformés, de 10° la différence passe par des valeurs décroissantes à 0° .

3°) La *zone* ph_1 donne lieu à des sections à clivages rectangulaires, présentant les mêmes couleurs de polarisation et des extinctions simultanées.

FELDSPATHS TRICLINIQUES.

Dans la plupart des feldspaths tricliniques, les arêtes principales de zone ph_1 , pg_1 , h_1g_1 ne sont plus situées dans les plans principaux d'élasticité; il en résulte que les notions précédentes ne suffisent plus pour nous donner une idée précise des courbes d'extinction; tantôt la distance des arêtes principales de zone aux plans contenant les axes d'élasticité est assez petite pour être négligée dans une première approximation; tantôt il nous faudra construire la courbe point par point; la projection gnomonique sur le plan tangent à la sphère de rayon 1, au point où l'arête de zone la perce, nous fournira une construction géométrique simple, dont le principe nous a été suggéré par M. Mallard.

§ 29. Soit Z (Pl. X, fig. 48) le point où l'arête de zone perce la sphère et le plan de projection gnomonique, A et B la projection des axes optiques; prenons un plan quelconque Zab de la zone; les traces des plans passant par la normale au plan Zab et par les axes optiques, seront deux droites Aa , Bb , perpendiculaires à Zab et parallèles

entre elles. Rabattons le plan passant par le centre de la sphère de rayon r , autour de la trace Zb : le centre viendra en O , et la bissectrice Om de l'angle bOa fera, avec l'arête de zone OZ , l'angle d'extinction mOZ cherché.

Remarquons que les points a et b se trouveront respectivement sur les deux cercles de diamètre ZA , ZB , et que pour repérer la position de ces deux cercles, on a généralement la possibilité de tracer immédiatement la ligne AB , trace du plan des axes optiques sur le plan de projection. On connaît alors immédiatement le second point P où les deux cercles se coupent, et pour les déterminer entièrement, les extinctions suivant deux plans connus de la zone ou encore la position de la bissectrice et l'extinction suivant un plan de la zone suffisent habituellement, quand on ne possède pas d'autre part l'angle $2V$ fait par les axes optiques entre eux.

On doit à M. Des Cloizeaux deux mémoires récents sur les feldspaths tricliniques qui serviront de base à notre étude; dans le premier (*), les plans principaux d'élasticité et la direction des axes optiques sont déterminés pour la plupart des feldspaths. Le second (**), principalement consacré à la description d'un nouveau feldspath triclinique, de même composition que l'orthose, le microcline, contient en outre des données numériques relatives à l'extinction des feldspaths, dans la lumière polarisée parallèle, pour les faces de clivage facile g_1 et p . Cette dernière face est d'ailleurs considérée comme se confondant approximativement avec la face passant par l'arête pg_1 et une perpendiculaire à g_1 , et dans tout ce qui va suivre, nous remplacerons la zone ph_1 par la zone ayant pour arête la perpendiculaire à g_1 , l'erreur ainsi commise oscillant entre 0° et 3° .

En effet, cette perpendiculaire sert d'axe de rotation dans

(*) *Annales de chimie et de physique*, 9^e série, t. IV, p. 249 (avril 1875).

(**) *Id.*, t. IX, 1876.

la macle la plus fréquente des feldspaths tricliniques dite *macle de l'albite*, et qui a pour face de composition g_1 ; au lieu de mesurer dans la face p l'angle d'extinction par rapport à l'arête pg_1 , on mesure de préférence l'angle compris entre l'extinction successive de deux lamelles hémitropes accouplées, dans la face passant par pg_1 et une perpendiculaire à g_1 ; cet angle a pour bissectrice la ligne de macle, et se trouve sensiblement égal au double de l'angle cherché.

Voici les résultats numériques dus à M. Des Cloizeaux :

	EXTINCTIONS DANS LES FACES	
	passant par pg_1 et une normale à g_1 entre deux lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite.	g_1 à partir de l'arête pg_1 .
Microcline..	30° à 32°	5° à 7°
Albite. . . .	7° à 8°	18° à 20°
Oligoclase..	2° à 3°	1° à 3°
Labradorite.	10° à 14°30'	26° à 28°
Anorthite..	57° à 74°	31°

{ quelques péristérites du Canada. } 15° à 17°
 { quelques variétés de Mineral-hill. } 5° à 7°
 { quelques variétés de Finlande. } 16° à 18°

Une autre macle fréquente dans les feldspaths tricliniques est celle que l'on connaît sous le nom de *macle du perikline*. On sait que cette macle a pour face de composition p et pour axe de rotation ph_1 ; elle détermine sur la face g_1 la juxtaposition d'une série de lamelles hémitropes qui présentent de l'analogie avec celles que la macle de l'albite détermine suivant la face p . On peut remarquer que l'axe de rotation ph_1 de la macle du perikline est très-voisin de celui de la macle de l'albite, qui est perpendiculaire à g_1 ; pour le microcline les deux axes se confondent; ils font un angle d'environ 3° dans les autres feldspaths tricliniques. Il en résulte que lorsque ces deux mâcles se juxtaposent dans un même individu cristallin, les quatre séries de lamelles hémitropes s'éteignent simultanément deux à deux; circonstance qui se justifie rigoureusement

pour les deux séries de lamelles hémitropes appartenant au même cristal et ayant le même ellipsoïde d'élasticité; quant aux deux autres séries qui ont subi une rotation de 180° autour de deux axes de rotation très-voisins l'un de l'autre, leurs ellipsoïdes d'élasticité ne coïncident plus absolument; encore convient-il de rappeler ici que les mâcles ne s'effectuent rigoureusement ni suivant g_1 , ni suivant p (*), et la tendance des petites lamelles hémitropes est de se disposer le plus symétriquement possible.

M. Stelzner(**) a remarqué que ces deux sortes de mâcles s'associent fréquemment dans le Labradorite et déterminent dans la zone ph , un réseau presque à angle droit de lamelles hémitropes. On trouve fréquemment dans les plaques minces de pareils réseaux, non-seulement parmi les cristaux de Labradorite, mais encore pour tous les feldspaths tricliniques. Tantôt l'association paraît tellement intime, qu'il est impossible aux plus forts grossissements et avec des plaques d'une extrême minceur, de saisir la séparation de deux lamelles hémitropes voisines et la façon dont le premier système chevauche à angle droit sur le second; tel est le cas du microcline, et il semble qu'il convient de recourir aux phénomènes récemment décrits par M. Malard (***) pour expliquer de pareilles associations.

Tantôt, au contraire, les petites lamelles hémitropes sont nettement définies et les plans de mâcle sont même parfois visibles sans le secours de la lumière polarisée; lorsque les plaques sont suffisamment minces, on constate qu'il n'y a pas chevauchement, mais simplement juxtaposition des deux systèmes à angle droit. Dans les nombreux cas qu'il nous a été donné d'étudier, le fait dominant est l'extinction simultanée des deux séries de lamelles à angle droit deux par deux. Nous avons vu que la combi-

(*) Des Cloizeaux, *Manuel de minéralogie*, t. I, page 320.

(**) *Berg und Hüttenmänn. Ztg.*, XXIV, n° 18, page 150.

(***) *Phénomènes optiques anormaux*, *Ann. des mines*, t. X, 1876.

naison de la mâcle de l'albite et de celle du périkline donne une explication suffisante de ce fait. Remarquons ici que les deux zones respectivement perpendiculaires, l'une à g_1 , l'autre à p , peuvent seules donner des sections dans lesquelles les réseaux de lamelles hémitropes se coupent à peu près à angle droit.

Les feldspaths tricliniques à l'état microlithique présentent souvent aussi des associations en forme de croix rectangulaire ou parfois oblique. Mais elles ne peuvent plus entrer dans les catégories précédentes; chacun des microlithes, concourant ainsi vers un centre unique, est allongé suivant l'arête pg_1 , et ne touche ses voisins que par une de ses extrémités, point de départ probable du phénomène de cristallisation, car l'extrémité libre se termine souvent par de vraies arborisations. Tantôt chacun des quatre individus ainsi croisés est simple, tantôt il se compose de quelques lamelles accouplées suivant la mâcle de l'albite. Il convient donc de supposer que les quatre individus composés subissent entre eux une seconde mâcle avec axe de rotation perpendiculaire à p . Si l'allongement des microlithes avait lieu suivant h_1g_1 , on pourrait rapporter ce groupement à la mâcle de Baveno.

Nous allons maintenant chercher les angles d'extinction caractéristiques de chacun des feldspaths tricliniques, en nous attachant principalement à la zone pg , suivant l'arête de laquelle les microlithes feldspathiques sont généralement allongés et qui suffit à elle seule pour les déterminer. La zone ph_1 , ou du moins une zone voisine ayant pour arête la perpendiculaire à g_1 , présente aussi une grande importance parce qu'elle comprend toutes les sections dans lesquelles deux lamelles hémitropes voisines s'éteignent symétriquement de part et d'autre de la mâcle. Lorsque le feldspath triclinique n'est pas mâclé (*), cette zone est en-

(*) Fouqué, laves de Santorin, 15 mai et 15 novembre 1876, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*.

core précieuse parce qu'elle présente des sections presque rectangulaires qui ne s'éteignent pas, comme les sections similaires de l'orthose, suivant leurs côtés. La zone perpendiculaire à g_1 est malheureusement moins caractéristique que la zone ph_1 et l'on a commis de nombreuses erreurs à son égard.

Microcline. — On doit à M. Des Cloizeaux des données qui permettent de repérer avec une précision suffisante la position des plans principaux d'élasticité du microcline.

Prenons l'arête pg_1 perpendiculaire au plan de la fig. 49, Pl. X; soit Z sa trace sur la sphère de rayon 1. Le plan contenant la bissectrice et l'axe d'élasticité moyenne fera, dans l'angle obtus $pg_1 = 90^\circ 16' = Z$:

avec p un angle de 81° à $82^\circ = E$;
avec g_1 un angle de $27^\circ 41' = D$.

Le triangle sphérique ZDE est ainsi complètement déterminé; son côté ZE est égal, d'après M. Des Cloizeaux, à $15^\circ 27'$.

Il nous est facile maintenant de repérer le point n où la normale optique vient percer la sphère, et qui sert de pôle au grand cercle précédent. Menons, en effet, par Z le grand cercle perpendiculaire au grand cercle ED; il vient couper ce dernier en M et l'on a:

$$MZE = 8^\circ 49', \quad MZ = 15^\circ 17'.$$

Le plan des axes optiques passe par n ; il s'abaisse d'avant en arrière (en supposant qu'on ait l'arête obtuse pg_1 en haut, à droite, et perpendiculaire au plan du tableau vertical), et sa trace sur g_1 fait avec pg_1 un angle $ZT = 5^\circ$ à 6° ; le grand cercle nTb déterminera, par son intersection avec le précédent, la bissectrice b .

M. Des Cloizeaux donne, pour l'écartement des axes optiques d'un microcline de Mursinsk, une série de valeurs

dont on peut déduire la moyenne $2V = 83^\circ 42'$. Cet angle paraît légèrement variable avec les diverses espèces de microcline; cependant il correspond avec assez d'exactitude aux extinctions connues des faces p et g_1 .

Zone pg_1 . — On pourrait calculer les constantes α, β, γ de cette zone et la construire par points, soit au moyen des formules établies plus haut, soit par la construction graphique précédemment indiquée. Mais il est préférable de remarquer que l'arc de grand cercle bM , perpendiculaire au plan des axes optiques, est très-petit et au plus égal à 5° .

Si donc on fait tourner l'ellipsoïde d'élasticité du microcline d'environ 5° autour de sa normale optique, b viendra en M et l'arête pg_1 sera contenue dans le plan de la bissectrice et de la normale optique à une distance $y_0 = MZ = 15^\circ 17'$ de la bissectrice, c'est-à-dire intérieurement au plus petit angle fait entre eux par les axes optiques. La courbe des extinctions décroîtra donc de $15^\circ 17'$ à 0° (lorsque le plan de zone passera du plan des axes optiques à un plan contenant pg_1 et l'axe d'élasticité moyenne), sans passer par des maxima ou des minima.

Si l'on a affaire à deux lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite, l'axe de rotation étant perpendiculaire à g_1 , l'ellipsoïde d'élasticité du second cristal prendra, par rapport à cet axe, une position symétrique du premier, et il est facile de voir que cette position peut être atteinte au moyen d'une rotation de $180^\circ - 2 \times 8^\circ 33' = 162^\circ 54'$ autour de l'arête pg_1 , restée commune aux deux cristaux. La courbe d'extinction du second cristal (Pl. X, fig. 50) sera donc simplement celle du premier dont on aurait transporté l'origine à $162^\circ 54'$ dans le sens des x positifs.

Il en résulte que les deux courbes se coupent à mi-distance, pour $x = 81^\circ 27'$, c'est-à-dire au point même où le plan de zone se confond avec la face g_1 . La somme en valeur absolue de leurs ordonnées est maximum ou minimum 90° plus loin, pour $x = 171^\circ 27'$; car il est facile de voir

que de part et d'autre de cette abscisse, à une même distance portée sur l'axe des x , dans le sens positif pour une des courbes et dans le sens négatif pour l'autre, les ordonnées de la courbe inférieure sont égales aux ordonnées de la courbe supérieure en valeur absolue. Il y a donc maximum si les deux courbes présentent leur concavité vers l'axe des x , et minimum dans le cas contraire. Pour le microcline, dans l'espèce, il y a maximum, et ce maximum correspond à la face de zone perpendiculaire à g_1 ; on sait qu'elle se trouve à environ $16'$ des faces p et p' . On en conclura donc que, pour la zone pg_1 , l'angle maximum compris entre les extinctions successives de deux lamelles hémitropes de microcline correspond précisément aux nombres que M. Des Cloizeaux nous a fait connaître, 30° à 32° , et coïncide à peu près avec la phase de la zone pg_1 pour laquelle des microlithes de ce feldspath s'éteindraient le plus loin de leur longueur (Pl. X, fig. 51).

Zone perpendiculaire à g_1 . — En partant des données précédentes et au moyen du procédé graphique, on recueille sur cette zone les données suivantes : choisissons pour plan originaire le plan contenant l'arête pg_1 ; il est, dans tous les feldspaths tricliniques, très-voisin de p ; pour le microcline, on peut le considérer comme coïncidant avec cette face. L'épure, pour $2V = 83^\circ 42'$, indique (Pl. X, fig. 52) dans ce plan une extinction à $15^\circ 30'$ de l'arête de zone ou de la ligne de macle qui lui est normale; cette extinction diminue à mesure que le plan de zone s'éloigne du plan contenant la normale optique; l'extinction est à 0° pour $x = 74^\circ$ environ; puis elle change de signe et croît rapidement; la courbe passe par un point d'inflexion. Dans le plan de la zone perpendiculaire à pg_1 , l'extinction est à 11° ; puis elle passe par un maximum de 18° en valeur absolue pour $x = 120^\circ$, et décroît lentement ensuite jusqu'au plan contenant pg_1 , où elle retrouve sa valeur initiale changée de signe, $15^\circ 30'$.

Dans les cristaux mâclés suivant la loi de l'albite, nous savons que, pour la zone perpendiculaire à g_1 , tout se passera symétriquement de part et d'autre de la ligne de macle; en d'autres termes, la courbe des extinctions du second cristal est symétrique de la première, par rapport à l'axe des x (fig. 52). Il en résulte que si l'on mesure l'angle compris entre les extinctions successives de deux lamelles hémitropes de microcline, lorsqu'elles se font symétriquement de part et d'autre de la macle, on peut trouver toutes les valeurs comprises entre 0° et 36° , ainsi que les suppléments de ces valeurs; tel est le résultat pratique à retenir pour la zone perpendiculaire à g_1 .

Albite. — Comme précédemment pour le microcline, si nous prenons l'arête pg_2 perpendiculaire au plan du tableau et aboutissant en Z, le grand cercle DME représentera le plan perpendiculaire à la bissectrice, toujours positive, de l'albite (Pl. X, fig. 53). Dans le triangle sphérique ZDE, on a (*) :

$$\begin{array}{l|l} \text{Angle Z} = 86^\circ 25' & \text{d'où l'on déduit} \quad \text{ZE} = 4^\circ 50' \\ \text{D} = 15^\circ 22' & \text{ZM} = 4^\circ 28' \\ \text{E} = 79^\circ & \text{Angle EZM} = 11^\circ 2' \end{array}$$

La projection de la bissectrice b sur un plan perpendiculaire à pg_1 , fait donc avec une normale à g_1 un angle de $14^\circ 37'$.

Le plan des axes optiques passe par b et sa trace sur le plan g_1 fait avec pg_1 un angle $ZC = 18^\circ 48'$, en s'abaissant d'avant en arrière comme pour le microcline.

La dispersion est ici négligeable; l'angle des axes optiques est légèrement variable dans les différents échantillons; nous prendrons comme valeur moyenne $2V = 78^\circ$ à 79° .

Zone pg_1 . — Pour obtenir une solution, nous nous conten-

(*) Des Cloizeaux, *l. c.*, 2^e mémoire 1876, page 47 du tirage à part.

terons de l'approximation obtenue en faisant tourner l'ellipsoïde d'élasticité de l'albite d'un angle $ZM=4^{\circ}28'$ autour du diamètre PQ (fig. 53). L'arête pg_1 se trouvera alors contenue dans le plan de la normale optique et de l'axe d'élasticité moyenne, et fera avec la normale optique un angle MN ; on peut considérer MN comme sensiblement égal à ZC ; y_0 est donc voisin de 19° .

En nous reportant à l'épure générale, Pl. VIII, fig. 9, nous voyons que cette valeur initiale de l'extinction est un maximum, et que l'angle d'extinction décroît, sans passer par un maximum ou un minimum, jusqu'à devenir nul pour le plan de la zone contenant la bissectrice.

Pour se rendre compte de l'extinction de deux lamelles hémitropes d'albite, maclées suivant la loi de l'albite, dans la zone pg_1 , il suffit de constater (Pl. X, fig. 54) que la courbe des extinctions de la seconde lamelle est simplement en retard sur la première d'environ 50° et d'ailleurs identique avec elle.

On en déduit des conclusions analogues à celles qui ont été exposées à propos du microcline : pour $\alpha=15^{\circ}$, le plan de zone coïncide avec $g_1g'_1$ et les deux courbes se coupent; l'extinction des deux lamelles est simultanée.

Pour $\alpha=105^{\circ}$, le plan de zone est très-voisin des plans p et p' , et l'angle compris entre les extinctions successives des deux lamelles, à peu près égal à 7 à 8° , se trouve être un maximum ou un minimum; seulement ici nous ne pouvons plus affirmer que les deux courbes tournent leur concavité ou leur convexité vers l'axe des x ; le seul fait évident est que le rayon de courbure est très-grand; par suite la valeur trouvée doit se conserver longtemps, et elle est voisine du maximum absolu.

La fig. 55, Pl. X, rend compte de ces diverses circonstances; contrairement à ce qui a lieu pour le microcline, on voit que pour la zone pg_1 , dans l'albite, l'angle maximum compris entre les extinctions successives de deux lamelles

hémitropes coïncide à peu près avec la phase de cette zone pour laquelle un microlithe d'albite s'éteint près de sa longueur; aussi le maximum est-il relativement petit; il n'atteint pas la moitié de l'angle d'extinction (19°) maximum d'un microlithe d'albite, rapporté à sa longueur.

On peut vérifier directement, au moyen d'une épure, que ces conclusions sont, pour l'albite, suffisamment approximatives; cependant en réalité le maximum absolu paraît atteindre des valeurs voisines de 12° , entre les extinctions successives de deux lamelles hémitropes, et il correspond à peu près au plan de zone dans lequel un des cristaux s'éteint suivant sa longueur; la symétrie de chaque courbe n'existe pas en réalité par rapport au plan perpendiculaire à la bissectrice; et le plan de zone correspondant à l'extinction suivant la longueur pg_1 des microlithes est plus voisin du plan g_1 que le plan contenant la bissectrice. Remarquons du reste qu'une fois la courbe des extinctions du premier cristal construite graphiquement, on en déduit celle du second, en prenant simplement une courbe symétrique par rapport au plan g_1 .

Zone perpendiculaire à g_1 . — En partant des données précédentes et au moyen du procédé graphique, on recueille sur cette zone les données suivantes : dans le plan choisi pour origine (fig. 56, pl. X), contenant l'arête de zone et l'arête pg_1 , par conséquent très-voisin de p , l'extinction a lieu, d'après l'épure, à 4° (pour $\sqrt{2}V=78^{\circ}$); en effectuant la rotation de la zone dans l'angle obtus (égal à 102°) compris entre le plan d'origine et le plan de zone contenant la bissectrice, on voit l'angle d'extinction diminuer d'abord; il est nul pour $\alpha=26^{\circ}$ environ; puis la courbe croît en sens inverse; dans le plan perpendiculaire à pg_1 , elle atteint une valeur de $15^{\circ}30'$ et passe 10° plus loin, pour $\alpha=100^{\circ}$, par un maximum d'environ $15^{\circ}45'$; ensuite la courbe décroît régulièrement jusqu'au plan contenant pg_1 , où elle retrouve sa valeur initiale changée de signe.

Dans les cristaux mâclés suivant la loi de l'albite, on voit (*fig. 56*) que l'angle compris entre l'extinction de deux lamelles hémitropes oscillera entre 0° et $31^\circ 30'$, ou entre 180° et $148^\circ 30'$, pour peu que l'on mesure cette extinction symétriquement de part et d'autre de la ligne de mâcle.

Oligoclase. — L'oligoclase occupe un rang à part dans la série des feldspaths tricliniques : l'arête pg_1 peut être considérée comme se confondant très-approximativement avec la normale optique; la bissectrice ferait d'ailleurs, d'après les derniers travaux de M. Des Cloizeaux, un angle d'environ $18^\circ 10'$ avec la normale à g_1 et serait située dans un plan perpendiculaire à pg_1 (*fig. 57*, Pl. X).

L'écartement des axes optiques est essentiellement variable, mais généralement très-grand, et souvent voisin de 90° ; nous négligerons la dispersion.

Zone pg_1 . — Cette zone étant parallèle à un axe principal d'élasticité, l'extinction s'y produit constamment suivant pg_1 , c'est-à-dire parallèlement à la longueur des microlithes d'oligoclase. Dans les cristaux mâclés, l'extinction des lamelles hémitropes est simultanée et parallèle à la ligne de mâcle.

Zone perpendiculaire à g_1 . — L'arête de zone est comprise dans le plan contenant l'axe d'élasticité moyenne et la bissectrice; l'extinction initiale, à partir de la bissectrice, est de $18^\circ 30'$; c'est là un maximum et la courbe décroît ensuite d'une façon continue jusqu'à 0° pour le plan contenant l'arête pg_1 et voisin du plan p ; les extinctions se font symétriquement de part et d'autre du plan perpendiculaire à pg_1 (*fig. 58*, Pl. X).

Il en résulte que les cristaux mâclés d'oligoclase, s'éteignant symétriquement de part et d'autre de la mâcle, peuvent présenter des angles oscillant entre 0° et 37° ; ce dernier maximum correspond au plan de zone perpendiculaire à pg_1 .

Labradorite. — Le grand cercle DME (Pl. X, *fig. 59*) représente le plan perpendiculaire à la bissectrice toujours positive du labradorite. Dans le triangle sphérique ZDE, on a (*):

$$\begin{array}{l|l} Z = 95^\circ 20' & \left. \begin{array}{l} \text{d'où l'on déduit} \\ \text{ZE} = 7^\circ 15' \\ \text{ZD} = 11^\circ 15' \\ \text{ZM} = 6^\circ \end{array} \right\} \\ D = 31^\circ 24' & \\ E = 56^\circ & \end{array}$$

La projection de la bissectrice b sur un plan perpendiculaire à pg_1 fait avec une normale à g_1 un angle de $30^\circ 53' = MZE - 3^\circ 20'$.

Le plan des axes optiques ne paraît pas occuper une position fixe dans toutes les espèces de labradorites; M. Des Cloizeaux considère que ce feldspath peut se diviser en deux séries distinctes, l'une s'éteignant dans la face g_1 à 17° de l'arête pg_1 , l'autre à 27° . Il nous faudra donc supposer successivement ZC égal à 17° , puis à 27° . La trace du plan des axes optiques sur g_1 s'élève d'ailleurs toujours d'avant en arrière, à l'inverse du microcline et de l'albite.

L'angle des axes optiques n'a pas été jusqu'à présent déterminé en valeur absolue. Si l'on adopte la position indiquée plus haut pour la bissectrice, et si l'on admet une valeur ZC = 17° , une extinction à 5° de l'arête pg_1 dans la face p suppose une valeur $2V = 46^\circ$. Pour ZC = 27° et $2V = 46^\circ$, l'extinction dans la face p serait à $4^\circ 45'$ de l'arête pg_1 . — Pour obtenir des valeurs plus grandes et voisines par exemple de 7° , il faudrait supposer un écartement encore plus minime des axes optiques, si l'on admet que la bissectrice conserve toujours la même position, telle que l'a définie M. Des Cloizeaux.

Nous négligerons la dispersion.

Zone pg_1 . — En faisant tourner l'ellipsoïde d'élasticité

(*) Des Cloizeaux, *l. c.*, page 53.

du labradorite de 6° autour du diamètre PQ, nous amè-
nons l'arête pg_1 dans le plan de la normale optique et de
l'axe d'élasticité moyenne, à une distance y_0 de la normale
optique, qu'il nous faudra successivement supposer égale
à 17° et à 27° environ. A cette valeur initiale qui est un
maximum, succèdent des valeurs décroissant jusqu'à 0° ,
qui correspond au plan de zone contenant la bissectrice;
la courbe est symétrique par rapport au plan de la zone
normal à cette bissectrice.

Dans le cas de lamelles hémitropes mâclées suivant la
loi de l'albite, la courbe du second cristal est identique avec
celle du premier, mais en retard de $61^\circ 43'$. Les deux courbes
se coupent dans le plan $g_1g'_1$; dans le plan passant par la
normale à g_1 , et voisin des plans p et p' , leur écartement
atteint une valeur de 10° à 14° , qui correspond à un mini-
mum ou à un maximum relatif. Cette valeur doit donc se
présenter fréquemment; mais on ne peut plus la considé-
rer ici comme voisine du maximum absolu (Pl. X, fig. 60).

Si, au lieu de se contenter de cette approximation, on
construit l'épure relative à la zone pg_1 , les courbes per-
dent leur symétrie par rapport aux plans S, S' perpendicu-
laires à la bissectrice; mais la courbe du deuxième cristal
reste symétrique de celle du premier, par rapport au plan g_1 ,
(Pl. X, fig. 61). Les courbes se coupent trois fois pour une
rotation de 180° du plan de zone; les extinctions successives
de deux lamelles hémitropes comprennent fréquemment
des angles d'environ 12° à 14° , et fréquemment aussi, dans
ce cas, la ligne de mâcle sert de bissectrice; mais il y a un
autre maximum absolu pouvant atteindre environ 18° et qui
correspond à peu près, au contraire, à l'extinction du pre-
mier cristal la plus éloignée de la ligne de mâcle et voisine
de 27° .

Zone perpendiculaire à g_1 . — En partant des données
précédentes et en supposant $2V = 46^\circ$, on recueille sur
cette zone les données suivantes :

1°) $ZC = 17^\circ$. — Dans le plan choisi pour origine (Pl. X,
fig. 62), contenant l'arête de zone et pg_1 , par conséquent très-
voisin de p et de p' , l'extinction a lieu, d'après l'épure, à 5° .
En effectuant la rotation dans l'angle obtus fait par le plan
d'origine avec celui des bissectrices, l'extinction décroît
d'abord et passe par 0° pour $x = 12^\circ$ environ; puis elle
change de sens, et croît rapidement; dans le plan de zone
perpendiculaire à pg_1 , elle atteint 31° ; pour $x = 100^\circ$, elle
passe par un maximum égal à $31^\circ 15'$, puis elle décroît ré-
gulièrément jusqu'au plan contenant pg_1 , où elle retrouve
sa valeur initiale, changée de signe.

2°) $ZC = 27^\circ$. — La courbe est presque identique avec
la précédente; elle part d'une valeur initiale de $4^\circ 45'$ pour
 $x = 0$, et passe par un maximum de 31° pour $x = 110^\circ$.

Dans les cristaux mâclés suivant la loi de l'albite, on
voit (Pl. X, fig. 62) que l'angle compris entre l'extinction
successive de deux lamelles hémitropes oscille entre 0° et
 $62^\circ 30'$, pour le labradorite, dans la zone perpendiculaire
à g_1 . Ce dernier maximum correspond à peu près au plan
de zone contenant les bissectrices, et se trouve voisin du
plan perpendiculaire à pg_1 .

Anorthite. — Les données incomplètes, que nous pos-
sédons sur l'anorthite, ne nous permettent pas de repérer
avec précision le plan des axes optiques de cette sub-
stance.

D'après M. Des Cloizeaux, le plan normal à la bissec-
trice, toujours négative, déterminerait un triangle ZDE
(Pl. X, fig. 63) dans lequel on aurait :

$$\begin{array}{l|l} Z = 85^\circ 50' & \text{d'où l'on déduit} \\ E = 55^\circ 7' & \text{DZ} = 39^\circ 8' \\ D = 52^\circ 45' & \text{MZ} = 30^\circ 9' \\ & \text{Angle MZD} = 44^\circ 26' \end{array}$$

De plus, l'extinction dans les faces g_1 et p a été égale-

ment étudiée par M. Des Cloizeaux; elle varie dans de grandes limites, mais elle est toujours très-oblique.

Zone pg_1 . — Nous connaissons dans la zone pg_1 , les extinctions des faces p et g_1 .

Pour p , l'angle oscille entre 20° et 42° ; pour g_1 , entre 25° et 45° .

La position de la bissectrice déterminée plus haut donne une extinction de $30^\circ 9'$ dans le plan de la zone pg_1 , situé à $44^\circ 26'$ de la face g_1 , dans l'angle aigu pg_1 .

Dans les cristaux mâclés suivant la loi de l'albite, l'extinction de deux lamelles hémitropes de la section passant par pg_1 et la normale à g_1 , comprend un angle à peu près double de celui qui a été attribué plus haut à la face p ; il oscille donc entre 40° et 84° .

Zone ph_1 . — Le même angle appartient à la zone ph_1 ; mais en outre on peut aussi calculer l'angle d'extinction de l'anorthite dans le plan de la zone ph_1 , contenant la bissectrice; ce plan est à $45^\circ 33'$ du plan perpendiculaire à pg_1 , et l'extinction doit s'y produire sous un angle de $37^\circ 21'$; dans le cas de lamelles hémitropes, l'angle compris entre l'extinction successive de deux lamelles voisines sera donc de $74^\circ 42'$, pour ce plan de la zone ph_1 . On voit que les angles considérables paraissent fréquents pour l'anorthite, et c'est là une sorte de caractéristique de ce feldspath.

Nous résumons, dans le tableau qui suit, les résultats de l'étude des feldspaths :

FELDSPATHS.	ZONE pg_1 .		ZONE PERPENDICULAIRE A g_1 .	
	Microlithes allongés suivant pg_1 .		Extinctions symétriques de part et d'autre de la macle, ou sections non mâclées presque rectangulaires.	
	Extinctions rapportées à la longueur des microlithes.	Extinctions de deux lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite.	Extinctions rapportées à la trace du plan g_1 .	Extinctions de deux lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite.
	(1)	(2)	(3)	(4)
Orthose. . .	0° à 5°	0° à 31°	0° à 18°	0° à 36°
Microcline. . .	0° à 16°	0° à 12°	0° à $15^\circ 43'$	0° à $31^\circ 30'$
Albite. . .	0° à 19°	0° à 3°	0° à $18^\circ 30'$	0° à 37°
Oligoclase. . .	0° à 2°	0° à 18°	0° à $31^\circ 15'$	0° à $62^\circ 30'$
Labradorite. . .	0° à 17° ou à 27°	0° à 40°	0° au delà de $37^\circ 21'$	0° au delà de $74^\circ 42'$
Anorthite. . .	0° au delà de 30°	0° au delà de 40°	0° au delà de $37^\circ 21'$	0° au delà de $74^\circ 42'$

On voit que la zone pg_1 à elle seule est suffisamment caractéristique pour les feldspaths, quand ils se présentent en microlithes allongés suivant cette arête, ce qui est un cas fréquent dans un grand nombre de roches, méla-phyres et basaltes, porphyrites, trachytes et phonolithes, perlites récentes (structure microlithique). Ces microlithes sont en général très-allongés par rapport à leur épaisseur, et l'œil néglige de lui-même toutes les sections qui ne se rapportent pas à la zone pg_1 ; les expériences peuvent être multipliées à souhait; si donc il n'y a pas un mélange de diverses espèces, ou du moins si l'on peut les classer par catégories tranchées, la détermination optique, si rapide et d'un usage si facile, peut être susceptible d'une grande précision.

La difficulté est beaucoup plus grande dans le cas, fréquent aussi, où l'on a affaire à des plages feldspathiques étendues dans tous les sens et souvent dénuées de contours réguliers. Tel est le cas d'un grand nombre de roches granitiques, dioritiques et diabasiques (structures granitique et granulitique), et des cristaux anciens des roches microlithiques; il permet généralement de reconnaître un

certain nombre de sections appartenant à la zone perpendiculaire à g_1 , caractérisées par ce fait que les lamelles hémitropes s'éteignent symétriquement de part et d'autre de la ligne de mâcle; on a même souvent à étudier les réseaux mâclés à angle droit que nous avons signalés plus haut et qui appartiennent fréquemment à la zone perpendiculaire à g_1 . D'autres fois, quand les feldspaths ne sont pas mâclés, on peut faire état que les sections feldspathiques presque rectangulaires appartiennent souvent à cette zone.

Le tableau ci-dessus montre que l'étude de pareilles sections ne peut séparer le microcline, l'albite et l'oligoclase; mais il convient de remarquer que les mâcles du microcline sont généralement caractéristiques dans cette zone; d'autre part l'oligoclase peut être reconnu au grand nombre de ses sections dont les lamelles hémitropes s'éteignent presque simultanément (zone pg_1). Quant au labradorite et à l'anorthite, ils se distinguent des feldspaths précédents par leurs angles (colonne (4)) dépassant 37° ; si même on trouve des angles dépassant 63° , ils sont à rapporter à l'anorthite exclusivement.

Ces conclusions, qui découlent naturellement des données numériques que la science doit à M. Des Cloizeaux, ont été souvent méconnues, et il en est résulté des erreurs d'appréciations qui nécessiteront une révision des différentes roches au point de vue des feldspaths tricliniques qu'elles peuvent contenir.

Les déterminations optiques ne dispensent pas d'ailleurs des vérifications chimiques, et à ce titre on peut considérer comme précieuses les méthodes dues à M. Fouqué (*), pour l'épuration et le triage des microlithes feldspathiques contenus dans les roches. On peut aussi recourir aux délicats et rapides procédés d'essais chimiques sur les plaques minces elles-mêmes; M. Boricky vient de résumer, dans un

(*) *Analyse médiate des roches.* — Sav. étrangers, t. XXII, n° 4.

remarquable mémoire (*), nos connaissances à ce sujet; il a cherché à déterminer les formes présentées par les hydrofluosilicates de potasse, de soude, de chaux, etc., qui par un heureux hasard sont fort distinctes les unes des autres, et par l'emploi direct de l'acide hydrofluosilicique, il est parvenu à séparer les différents feldspaths entre eux, au moyen de l'espèce et de la quantité d'hydrofluosilicates cristallisés qui se produisent après une attaque de quelques heures.

(*) *Elemente einer neuen chemisch mikroskopischen Mineral und Gesteins Analyse*, Prag., 1877.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
Relations de position entre les axes d'élasticité et les axes cristallographiques.	392
Tableau des propriétés optiques des principaux systèmes cristallins.	397
Des angles d'extinction présentés par les sections d'une zone et comptés à partir de l'arête de la zone.	398
Cas où l'arête de zone est contenue dans le plan de la bissectrice et de l'axe d'élasticité moyenne.	402
Cas où l'arête de zone est contenue dans le plan des axes optiques hors de leur plus petit angle.	409
Cas où l'arête de zone est contenue dans le plan de la normale optique et de l'axe d'élasticité moyenne.	415
Cas où l'arête de zone est contenue dans le plan des axes optiques et comprise dans leur plus petit angle.	419
Extinctions rapportées aux traces des plans de clivage facile.	422
Applications pratiques : Pyroxène.	424
Amphibole.	429
Épidote.	434
Sphène.	437
Orthose.	440
Feldspaths tricliniques, généralités.	451
Microcline.	456
Albite.	459
Oligoclase.	462
Labradorite.	463
Anorthite.	465
Résumé relatif aux feldspaths tricliniques.	467

LÉGENDE DES PRINCIPALES FIGURES.

Pl. VIII, IX et X.

	Épure générale des courbes d'extinction dans le cas où l'arête de zone est contenue dans un plan principal d'élasticité.	Pl. fig.	VIII 9
PYROXÈNE.	Position des axes d'élasticité et des axes optiques.	}	» 12
	Courbes d'extinction des zones pg_1, h_1g_1 .		
	Clivage h_1 du diallage.		
	Clivages m, m , de l'augite.		
	Zone h_1g_1 pour les cristaux mûlés.	» 15	
	Zone pg_1 — — — — —	» 16	
AMPHIBOLE.	Position des axes d'élasticité et des axes optiques.	}	IX 20
	Courbes d'extinction des zones pg_1, h_1g_1 .		
	Clivage h_1 de l'actinote.		
	Clivages m, m , de la hornblende.		
	Zone h_1g_1 pour les cristaux mûlés.	» 22	
	Zone pg_1 — — — — —	» 23	
ÉPIDOTE.	Position des axes d'élasticité et des axes optiques.	}	» 27
	Courbes d'extinction des zones pg_1, h_1g_1 .		
SPHÈNE.	Clivages p et h_1 .	}	» 30
	Position des axes d'élasticité et des axes optiques.		
	Courbes d'extinction des zones pg_1 et h_1g_1 .	}	X 34
	Plan o_2 .		
ORTHOSE.	Position des axes d'élasticité et des axes optiques.	}	» 35
	Courbes d'extinction des zones pg_1 et h_1g_1 .		
	Clivages p et g_1 .		
	Mâcle de Carlsbad, zone h_1g_1 .		
	— — — zone pg_1 .	» 36	
	— de Baveno, zone pg_1 .	» 38	
MICROCLINE.	Zone pg_1 .	}	» 51
	Zone perpendiculaire à g_1 .		
ALBITE.	Zone pg_1 .	}	» 55
	Zone perpendiculaire à g_1 .		
OLIGOCLASE.	Zone perpendiculaire à g_1 .	}	» 58
	Zone pg_1 par approximation.		
LABRADOR.	— par le procédé graphique.	}	» 61
	Zone perpendiculaire à g_1 .		

ÉTUDES SUR LES HAUTS-FOURNEAUX.

(SUITE)

FORMES ET DIMENSIONS INTÉRIEURES
DES HAUTS-FOURNEAUX (*)

Par M. L. GRUNER,

Inspecteur général des mines.

Dans mes précédentes études sur les hauts-fourneaux (**), j'ai fait ressortir l'influence du profil intérieur sur la marche de ces appareils. On a vu que tout profil qui s'écarte trop d'un cylindre rend la descente des charges très-inégale au centre et le long des parois, et favorise par cela même l'accumulation des gaz vers la circonférence. La colonne centrale qui descend le plus vite est précisément celle qui est le moins exposée à l'action réductrice de l'oxyde de carbone.

Nous avons été ainsi conduits à diviser les hauts-fourneaux en deux catégories correspondant, l'une au type que nous avons appelé *trapu* et l'autre au type *élancé*.

Il me paraît aujourd'hui nécessaire de préciser davantage le sens de ces deux types, et l'influence qu'ils exercent sur la marche des hauts-fourneaux.

En comparant entre eux les profils d'un grand nombre

(*) Par suite d'une longue maladie, je n'ai pu rédiger moi-même cette note; elle l'a été par mon fils d'après mes indications détaillées et en partie sous ma dictée.

L. G.

(**) *Annales des mines*, 7^e série, tome II.

de hauts-fourneaux, il est facile de reconnaître que ces appareils peuvent, en réalité, se grouper en trois classes, sauf bien entendu, comme toujours en pareille matière, certaines formes intermédiaires qui établissent le passage d'un type à l'autre.

Nous prendrons pour caractéristique d'un haut-fourneau le rapport $\frac{H}{D}$ de la hauteur totale H au diamètre du ventre D .

Les *fours trapus* sont ceux dont la hauteur est inférieure ou au plus égale au triple du diamètre au ventre $\frac{H}{D} \leq 3$.

Les *fours ordinaires* sont ceux pour lesquels le rapport $\frac{H}{D}$ varie entre 3 et 4, et principalement oscille autour de 3,5. Quand le rapport, s'éloignant de cette moyenne, descend jusqu'à 3,2 ou au-dessous, ou monte jusqu'à 3,8 et au-dessus, les profils peuvent déjà être regardés comme *trapus* ou *élancés*.

Les *fours élancés* sont ceux pour lesquels le rapport $\frac{H}{D}$ est ≥ 4 . Il peut atteindre et même dépasser 5. Mais quand la hauteur arrive à égaler ou même à dépasser six fois le diamètre au ventre, comme nous en verrons quelques exemples, on peut bien dire qu'on a été trop loin, et cet excès de hauteur relative n'est pas lui-même sans présenter quelques inconvénients.

Les *fours trapus* sont en outre caractérisés par suite de leur grande largeur au ventre par une contraction exagérée au gueulard, ce qui contribue à rendre illusoire les soins que l'on peut prendre pour appliquer un mode de chargement rationnel (*). De là une nouvelle et sérieuse cause d'irrégularité dans la marche.

(*) Nous appelons *chargement rationnel* celui qui assure le plus

par 24 heures, on obtiendrait facilement 50 à 60 tonnes de fonte dans un fourneau de 200 mètres cubes de capacité. En fonte grise, on obtiendrait de 35 à 40 tonnes; ce sont des productions bien suffisantes et qui supposent déjà une grande activité tant au gueulard qu'à la halle de coulée pour le chargement des matières et l'enlèvement des produits, fontes ou laitiers.

Dans certains districts, notamment en Angleterre, ces productions n'ont pas paru suffisantes, les dimensions des fourneaux ont été doublées, triplées et même quintuplées. Les volumes intérieurs ont été portés à 500, 600 et jusqu'à 1.200 mètres cubes.

Tout le monde sait les résultats obtenus : de pareilles capacités n'ont pu être réalisées que par l'adoption de diamètres exagérés; avec ces fourneaux monstres, il a été impossible d'obtenir une descente rapide des matières, et la capacité intérieure, par tonne de fonte de forge produite par 24 heures, est montée à 8, 10 et jusqu'à 14 mètres cubes et au delà.

Et de plus, bien loin d'obtenir une diminution, on obtenait une augmentation de consommation par tonne de fonte produite dès que l'on voulait hâter un peu plus la descente des matières. Sous tous les rapports, l'adoption de ces profils trapus a donc été mauvaise.

Donnons quelques exemples. — A Clarence-Works, on trouve pour quatre types de dimensions très-différentes, en marche pour fonte de forge nos 3, 4, les résultats suivants:

DÉSIGNATION des fourneaux.	VOLUME total.	RAPPORT de la hauteur au diamètre au ventre.	VOLUME intérieur par tonne produite par 24 heures.	CONSOMMA- TION en coke par tonne.
	mètres cubes.		mètres cubes.	
Ancien fourneau de 1853.	170	2,92	5,6	1430
Haut-fourneau de 1866.	330	4,70	8,6	1125
— de 1865.	440	4,00	8,8	1425
— de 1870.	700	3,25	11,7	1125

Ainsi le volume du fourneau de 1870 est double de celui de 1866, et l'on n'obtient aucune économie de combustible; mais la production relative a baissé, et elle baisse d'autant plus que le volume augmente.

Les hauts-fourneaux de MM. Bolckow et Vaughan donnent des résultats de même nature :

DÉSIGNATION des fourneaux.	VOLUME total.	RAPPORT de la hauteur au diamètre au ventre.	VOLUME intérieur par tonne produite en 24 heures.	CONSOMMA- TION en coke par tonne.
	mètres cubes.		mètres cubes.	
Haut-fourneau de 1865.	430	6	9,3	1125
— de 1868.	736	4,1	14	1125

A Newport, près Middlesboro, on trouve encore :

Ancien haut-fourneau.	144	5	6,3	„
Haut-fourneau de 1861.	440	3,45	9	„
— de 1872.	850	3	12	„

Aussi M. L. Bell remarque-t-il à ce sujet que nulle part, dans le Cleveland, un fourneau de 700 mètres cubes ne produit deux fois autant qu'un fourneau de 350 mètres cubes, comme je l'ai déjà dit dans mes précédentes études.

En réalité, on voit que, par tonne de fonte nos 3, 4, on obtient en moyenne les résultats suivants :

	VOLUME total.	VOLUME INTÉRIEUR par tonne et 24 heures.
	mètres cubes.	mètres cubes.
Anciens hauts-fourneaux.	150 à 200	6
Hauts-fourneaux modernes.	300 à 450	8 à 9
Hauts-fourneaux les plus récents. .	700 à 1.200	12 à 14

En d'autres termes, la descente des charges exige 60 à 70 heures dans les grands fourneaux, tandis qu'elle n'en emploie que 30 à 40 dans les petits.

Les tableaux relatifs à la marche des hauts-fourneaux,

dans la région des Alpes, dressés par mon fils dans son mémoire sur la fabrication de la fonte en Styrie et en Carinthie, conduisent aux mêmes résultats.

Ainsi pour la fabrication, au charbon de bois, de fonte blanche lamelleuse, nous citerons quelques-uns des résultats :

DÉSIGNATION des fourneaux.	DATE.	VOLUME total.	RAPPORT de la hauteur au diamètre au ventre.	VOLUME par tonne de fonte produite par 24 heures.	CONSOMMA- TION par tonne.
		mètres cubes.		mètres cubes.	kilog.
Lölling.	1808	8,50	"	1,9 à 2	875
Lölling.	1875	52,00	4	3,4	650 à 680
Treibach.	1873	28,5	4,5	2,0	800
Treibach.	1875	53,0	4,8	2,65	600 à 625
Hiefnan (Ludovica).	1869-74	32,0	4,7	1,9	750
Hiefnan (Ludovica).	1876	100,0	4,2	3,3	"

Pour traiter au coke ces mêmes minerais, on a cru devoir agrandir notablement la capacité des fourneaux ; l'état menu des minerais mettant un obstacle à l'augmentation de hauteur des fours, on s'est rejeté sur le diamètre du ventre. A la place des fourneaux élancés toujours employés pour le traitement au charbon de bois, on a été conduit à employer des types plus ou moins trapus, surtout à Schwechat.

Aussi, dans cette usine, les résultats ont-ils été défectueux sous tous les rapports, consommation forte, production spécifique faible ; comme le montrent les indications suivantes relatives à la fabrication de fontes blanches :

DÉSIGNATION des fourneaux.	DATE.	VOLUME total.	RAPPORT de la hauteur au diamètre au ventre.	VOLUME par tonne de fonte produite par 24 heures.	CONSOMMA- TION par tonne.
		mètres cubes.		mètres cubes.	kilog.
Schwechat.	1873	285	3,33	5,7	1.400 à 1.450
Prävali.	1873	183	3,72	5 à 6	1.150

Ces deux tableaux prouvent que la production des fourneaux au charbon de bois de 50 à 60 mètres cubes est proportionnellement moindre que celle des fourneaux de 10, 20 et 30 mètres cubes. Mais les différences sont faibles ; par contre l'avantage au point de vue de la consommation est encore notable, parce que les profils élancés ont été conservés.

Ils montrent également que les consommations ont grandi et que la production a diminué dans un fourneau au coke où un mode défectueux de chargement est venu aggraver l'influence d'un profil trapu.

Des tableaux dressés pour les fourneaux américains, en 1869, par M. le professeur Eggleston, confirment également ces résultats :

DÉSIGNATION des fourneaux.	VOLUME total.	VOLUME par tonne de fonte produite par 24 heures.	RAPPORT de la hauteur au diamètre au ventre.
	mètres cubes.	mètres cubes.	
Maryland (charbon de bois).	12,6	2,00	4,10
— — — — —	70,0	9,85	4,87
Pensylvanie (Anthracite).	29,0	3,00	4,00
— — — — —	234,0	10,87	2,51
— (coke).	36,0	4,00	4,00
— — — — —	104,0	4,80	3,60

Dans les fourneaux au charbon de bois du Maryland et dans ceux à l'anthracite de la Pensylvanie, l'augmentation de volume a surtout été obtenue par un développement du diamètre du ventre.

Aux formes élancées ($\frac{H}{D} = 4$ ou $4,1$), dans ces deux États, ont été substitués des fours très-trapus.

Aussi le volume par tonne est-il monté dans les fourneaux extra-trapus du Maryland ($\frac{H}{D} = 1,87$) jusqu'à 10 mètres cubes.

Dans les fourneaux à l'anthracite de Pensylvanie qui

n'atteignent pas 240 mètres cubes, le volume intérieur par tonne approche de 11 mètres cubes, mais aussi le rapport $\frac{H}{D} = 2,59$. Par contre, dans les fourneaux au coke de Pensylvanie où le profil élancé n'est pas complètement abandonné, le volume par tonne de fonte n'augmente que peu quand les fourneaux triplent de capacité intérieure.

De tous ces faits nous concluons donc que :

1° Pour des fourneaux ne dépassant pas 150 à 200 mètres cubes, une augmentation de volume, le profil restant élancé ($\frac{H}{D} \geq 4$) est généralement accompagnée d'une augmentation proportionnelle de production.

Au contraire, si le profil élancé devient trapu, l'augmentation de production est d'autant moins forte, pour une augmentation donnée de volume, que le profil est devenu plus trapu.

2° Pour des fourneaux dépassant 200 mètres cubes, même si le profil reste élancé, l'augmentation de production n'est plus proportionnelle à l'augmentation de volume.

3° Pour des fourneaux monstres, des variations de 300 à 400 mètres cubes de capacité intérieure ne sont même pas accompagnées de variations dans la production par 24 heures.

Le seul résultat obtenu est une vitesse moindre des matières, sans même qu'il soit réalisé de ce fait d'économie de combustible.

L'expérience a donc condamné l'exagération de volume des fourneaux; elle a prouvé que s'il y avait avantage à augmenter les dimensions, il fallait aussi savoir les maintenir dans des limites relativement restreintes :

60 à 70 mètres cubes pour des fourneaux au charbon de bois dont la hauteur ne peut guère dépasser 16 mètres; 180 à 200 mètres cubes pour des fourneaux au coke dans

le cas où les cokes et minerais permettent d'atteindre la hauteur maximum de 20 mètres.

On ne peut réellement reconnaître aux fourneaux monstres qu'un seul avantage, c'est celui d'être très-peu sensibles aux variations accidentelles qui peuvent se produire dans l'état de siccité des combustibles et minerais.

Quelques charges humides passent complètement imperçues; les fourneaux emmagasinent la chaleur comme les volants la force vive des machines; mais pour obtenir cet effet utile, il n'est pas nécessaire d'aller jusqu'aux dimensions des fourneaux monstres. Les dimensions de 200 mètres cubes suffisent déjà pour remplir ce rôle.

Restreignant ainsi de plus en plus les limites entre lesquelles peuvent varier les dimensions et profils des fourneaux, nous en arrivons à examiner spécialement les profils élancés, et nous chercherons à justifier l'importance que nous leur attribuons.

Le tableau comparatif des fourneaux de Clarence Works montre que le passage du type de 1853, fourneau trapu ($\frac{H}{D} = 2,92$), au type de 1865, fourneau élancé ($\frac{H}{D} = 4$) a réduit la consommation de 1.430 à 1.125 kilog. par tonne.

L'année suivante on a pu réduire de 100 mètres cubes la capacité du fourneau, mais en accentuant le profil élancé ($\frac{H}{D} = 4,7$ au lieu de 4) sans amener d'augmentation dans la consommation.

Ainsi donc c'est au profil, et non à la capacité intérieure, que doit être attribuée la marche avantageuse.

Poussons encore plus loin la comparaison des deux fourneaux de 1853 et 1866 que nous avons déjà examinés dans nos *Études sur les hauts-fourneaux* (Ann. des mines, 7^e série; t. II).

Le grand four (très-élancé $\frac{H}{D} = 4,7$) a sur le petit

(très-trapu $\frac{H}{D} = 2,92$) un double et même un triple avantage.

Il y a d'abord la moindre température des gaz au gueulard dans le grand fourneau; c'est un effet de la meilleure utilisation de la chaleur due à la plus grande hauteur, comme je l'ai remarqué dans mes premières études. Je n'y reviens pas.

Il y a, en second lieu, une grande différence dans le rapport $\frac{CO^2}{CO}$; dans le petit four il est de 0,387, dans le grand 0,6865.

Ces chiffres montrent que la proportion de CO est beaucoup plus grande dans le petit fourneau; or sa moindre hauteur en laissant moins longtemps CO² en contact avec C aurait dû amener un résultat inverse. S'il n'en est rien, c'est une conséquence du profil.

Dans le petit four trapu les gaz suivent les parois, ils agissent moins sur le minerai; donc la réduction se fait en proportion moindre par CO.

Et en effet, et c'est là le troisième avantage du grand fourneau, on voit que la réduction absorbe plus de *carbone solide* dans le petit four que dans le grand.

Dans le petit, par kilog. de fonte, la quantité de carbone solide consommé est de 0^k,1245; dans le grand, de 0^k,058.

Or pour réduire l'oxyde de fer donnant 1 kilog. de fonte ou 0^k,94 de fer pur, il faut enlever $\frac{3}{7} \times 0,94 = 0,403$

d'oxygène, ce qui exigerait $\frac{3}{4} \times 0,403 = 0,302$ de carbone (*).

On voit donc que, dans le petit four, les deux cinquièmes

(*) En réalité nous devrions tenir compte également des quantités d'oxygène combinées avec le Si, et les métaux terreux qui sont réduits; mais pour la comparaison qui nous occupe nous pouvons faire abstraction de ces quantités relativement faibles.

de l'oxygène sont enlevés par le carbone solide, tandis que dans le grand ce n'est que le cinquième. Cette différence provient en partie de la faible hauteur qui fait que le minerai arrive trop vite dans une région très-chaude; mais en partie seulement, puisque nous avons montré dans nos précédentes *Études* que des hauts-fourneaux tout aussi bas, mais plus élancés (Pouzin, Denain), n'offrent pas cette grande consommation. La différence ne peut donc être attribuée qu'au profil trop trapu.

Tous les directeurs d'usines du Cleveland arrivent à reconnaître de même que les trop grands fourneaux ne permettent plus de réaliser la moindre économie nouvelle de combustible.

Dans la première période de développement des fourneaux, alors que la hauteur principalement était augmentée, des économies notables étaient réalisées. Il n'en a plus été de même quand, plus tard, c'est par le développement des diamètres qu'on a cherché à obtenir les augmentations de volume.

Les résultats fournis par les hauts-fourneaux Styriens et Carinthiens sont des plus précis en faveur des profils élancés. C'est dans des fourneaux pour lesquels le rapport $\frac{H}{D}$ dépasse 4,80 que l'on a pu arriver à des consommations de 620 à 650 kilog. de charbon de bois par tonne de fonte blanche lamelleuse (ex. Treibach).

Voici d'ailleurs quelques-uns de ces résultats :

DÉSIGNATION des fourneaux.	DATE.	HAUTEUR.	VOLUME.	RAPPORT de la hauteur au diamètre, au ventre.	VOLUME par tonne de fonte produite par 24 heures.	CONSUM- MATION.
			mèt. c.		mèt. c.	kilog.
Treibach.	1873	11,35	28,5	4,51	2,00	800
Treibach.	1875	15,16	53,0	4,81	2,03	600 à 625
Hiefiau (Franz- Joseph).	1875	11,37	35,0	4,50	1,95	730
Hiefiau (Franz- Joseph).	1875	14,56	50,0	5,73	2,50	660

Les autres fourneaux d'Eisenerz, Hiefiau, etc., donnent tous les mêmes résultats.

On pourrait peut-être attribuer ces résultats avantageux à la facile réductibilité des minerais et à la grande fusibilité de leurs gangues; on pourrait être tenté de mettre le profil plus ou moins hors de cause; mais des observations directes ont prouvé que l'emploi d'un four trapu augmentait de suite les consommations.

A Hiefiau, en 1855, on substitua à un fourneau de 31 mètr. cubes de capacité pour lequel le rapport $\frac{H}{D}$ était 4,51, un fourneau de 47 mètres de capacité, de même hauteur, mais où le rapport $\frac{H}{D}$ était descendu à 3,57. Tous les autres éléments restant les mêmes, le fourneau était devenu plus trapu, immédiatement on constata une augmentation si notable dans la consommation qu'on dut mettre hors et reprendre les anciennes dimensions. Depuis lors, instruit par l'expérience, c'est par l'élévation des fourneaux qu'on produisit l'augmentation de volume; on a ainsi réalisé de notables économies de combustible, et atteint une régularité remarquable de marche.

J'observerai cependant qu'on peut dépasser également les limites comme élancement de fourneaux. Nous en avons un exemple dans le fourneau de Trofayach, pour

lequel le rapport $\frac{H}{D} = 6,2$. La hauteur de 15^m,80 dans le cas de charbons de bois friables et de minerais menus devient excessive, le vent ne pénètre plus que difficilement la masse fortement comprimée; aussi est-on obligé de marcher avec une pression de vent excessive, ce qui, comme nous savons, altère les qualités de la fonte, et rend, de plus, la répartition uniforme des gaz difficile.

Les fourneaux élancés ne conviennent pas seulement au traitement des minerais faciles à réduire, comme ceux de Styrie, les tableaux ci-dessous et les planches XI et XII nous montrent les mêmes types adoptés en Suède (Finspong, Swartnas) pour des minerais oxydulés compactes très-irréductibles; en Toscane, à Poggio, pour des minerais peu réductibles également. On sait combien ces derniers fourneaux étaient réputés autrefois pour leur grande production et leur faible capacité. Or le rapport $\frac{H}{D}$ égale 4,24, et il monte à 5,33 à Finspong. Ces mêmes profils élancés se retrouvent encore dans les anciennes usines des Vosges; ainsi on a

- A Mertzwiller, le rapport $\frac{H}{D}$ égal à 4,57.
- A Jaerthal. 4,10.
- A Mutterhausen. 4,46.

Dans les anciens fourneaux du Châtillonnais et du Doubs, le rapport $\frac{H}{D}$ variait aussi entre 4 et 5, et oscillait le plus souvent autour de 4,3 ou 4,5.

Pour les fourneaux au coke, nous avons vu qu'il en est de même; partout, dans la Moselle, dans le bassin de la Loire, comme en Angleterre, l'adoption de profils ordinaires se rapprochant des formes trapues $\frac{H}{D}$ variant entre 3 et 3,3 et surtout l'adoption de profils très-trapus $\frac{H}{D} < 3$ a donné de mauvais résultats.

Nous croyons donc pouvoir indiquer comme les plus recommandables les trois profils suivants :

DÉSIGNATION des fourneaux.	HAUTEUR.	DIAMÈTRE au ventre.	VOLUME total.	RAPPORT $\frac{H}{D}$
	mètres	mètres	mètres cubes.	
1° Fourneaux au charbon de bois.	14	3,0	60	4,66
2° Fourneaux au coke (pour minerais fusibles et réductibles).	16	4,0	140	4,00
3° Fourneaux au coke (pour minerais peu fusibles et peu réductibles en gros fragments).	18	4,5	200	4,00

Pour minerais facilement réductibles et fonte blanche, le premier profil permettrait de produire environ 30 tonnes par 24 heures.

Et le second permettrait d'atteindre au coke, avec ce même minerai, une production de 50 à 60 tonnes de fonte blanche.

Comme nous l'avons déjà dit, ces productions sont bien suffisantes; si l'on peut les dépasser un peu dans les fourneaux plus volumineux, l'augmentation des frais d'installation et autres n'est plus contre-balancée par la légère économie qui n'est même que rarement réalisée.

Rappelons en finissant qu'avec les gueulards de 2,80 à 3 mètres de diamètre, il est indispensable d'employer un appareil de chargement rationnel qui rejette le menu aux parois et rende la colonne centrale aussi perméable que possible en y concentrant les gros fragments de coke et de minerais.

Les tableaux suivants (p. 488 et 489) et les planches XI et XII donnent de nombreux exemples des trois types de fourneaux que nous venons de caractériser. Nous avons classé les fourneaux d'après le rapport $\frac{H}{D}$, en allant des plus trapus aux plus élancés; nous avons compris dans la

série à la fois les fours anglais les plus volumineux et les anciens petits fourneaux de Toscane, Styrie, etc.

A la fin nous donnons les dimensions et profils des trois types dont l'adoption nous paraît préférable, chaque type répondant à certaines conditions spéciales.

Fourneaux à poitrine fermée. — Je profiterai de cette occasion pour recommander l'adoption des *hauts-fourneaux à poitrine fermée*, qui ont été de tous temps en usage en Autriche, et qui ont été introduits depuis quelques années avec avantage en Allemagne (Osnabrück, Gleiwitz) et dans l'Est de la France (Pompey, etc.).

Depuis que l'habitude a prévalu de dégager complètement la chemise réfractaire dans toute la partie inférieure des étalages, et au niveau du creuset, l'emploi des avant-creusets est devenu inutile. Il est plus aisé même, en cas d'embaras, de percer une paroi latérale du fourneau, que de déplacer le gentilhomme et d'enlever la dame. Les avant-creusets sont une cause réelle de refroidissement et peuvent provoquer de ce fait des engorgements.

Pour faciliter un écoulement régulier des laitiers, il est bon d'employer, dans le cas des poitrines fermées, la *tuyère Lürmann*.

C'est une courte tuyère en bronze, à courant d'eau, par laquelle s'écoule régulièrement le laitier, sous une charge de quelques centimètres de la masse fluide: ce qui empêche la sortie du vent.

La poitrine ouverte semble cependant devoir être conservée dans le cas des hauts-fourneaux à anthracite, à cause des quantités considérables de menu combustible, qui sont généralement expulsées par soufflage après chaque coulée de fonte.

PROFILS INTÉRIEURS DES

NOMS des fourneaux.	DATE.	HAUTEUR.	DIAMÈTRE		RAPPORT de la hauteur au diamètre au ventre.	VOLUME des fourneaux.
			au gueulard	au ventre.		
			Année.	mètres.		
HAUTS-FOURNEAUX						
Maryland (U. S. A.)	1869	10,36	0,75	5,54	1,87	70
Cleveland (anciens hauts-fourneaux).	1850-60	12,00	2,80	5,00	2,40	135 à 140
Pensylvanie	1869	17,37	3,65	6,70	2,59	234
Dowlais (anciens hauts-fourneaux) . . .	1869	13,00	3,00	4,80	2,70	140 à 150
Ars-sur-Moselle	1870	13,14	3,00	5,50	2,75	200
Longwy	1873	20,00	4,00	7,00	2,85	415
Clarence	1853	14,60	2,40	5,00	2,92	170
Thornaby	1861	18,30	4,50	6,10	3,00	362
Ormesby	1870	27,50	4,80	9,15	3,00	1165
HAUTS-FOURNEAUX						
Clarence	1870	24,40	4,00	7,50	3,25	700
Ormesby	1867	23,20	3,60	7,00	3,30	584
Gartsherrie	1862	18,00	3,20	5,40	3,33	200
Longwy	1873	18,00	3,00	5,40	3,33	185
Ottange	1870	16,10	2,80	4,50	3,60	133
Maryland	1869	8,23	0,56	2,28	3,60	13
Mariazell	1875	14,40	0,95	3,16	3,62	35
Prävali	1872-74	17,50	2,85	4,63	3,72	185
Pouzin	1857	16,90	1,60	4,50	3,75	115
Vordernberg R. n° III	1875	14,50	2,22	3,80	3,83	101
Pensylvanie	1869	9,00	1,00	2,30	4,00	29
Clarence	1865	24,40	3,30	6,10	4,00	440
Anzin	1873	16,15	2,90	4,10	4,00	142
HAUTS-FOURNEAUX						
Follonica	1862	9,00	1,00	2,10	4,24	17
Southbank	1864	24,70	3,60	5,80	4,26	450
Low-Moor	1861	13,33	2,15	3,42	4,30	65
Hefl	1874	13,27	1,21	3,00	4,43	49
Treibach	1875	11,37	0,95	2,52	4,55	28,5
Hartz	1820	9,73	1,20	2,10	4,63	18
Clarence	1866	24,40	3,30	5,10	4,70	350
Prävali	1875	15,26	1,26	3,16	4,84	65
Neuberg	1875	13,60	1,70	2,68	5,11	50
Pinspong	1857	11,88	1,78	2,22	5,33	38
Hiefbau (Ferdinand)	1875	14,80	1,26	2,33	5,73	50
Trofayach	1875	15,80	1,58	2,53	6,20	58
HAUTS-FOURNEAUX						
Type n° 1	"	44,00	2,00	3,00	4,66	60
Type n° 2	"	16,00	2,80	4,00	4,00	140
Type n° 3	"	18,00	3,00	4,50	4,00	200

FORMES ET DIMENSIONS DES HAUTS-FOURNEAUX.

HAUTS-FOURNEAUX A FER.

NATURE du combustible.	TENEUR des minerais	PRODUC- TION par 24 heures.	NATURE des fontes.	CONSUM- MATION par tonne.	CAPA- CITÉ par tonne.	OBSERVA- TIONS.	NUMÉROS de la fig. Pl. XI et XII.
TRAPÈS $\frac{H}{D} < 3$							
charbon de bois.	40 à 45	7,1	truitée.		9,9		
coke.	40	20 à 25	grise claire.	15 à 1600	6		fig. 1
anthracite.	40	35	truitée.	"	11		"
houille crue et coke.	40 à 42	2,70	bl. grenue et fibr.	1900	5,6 à 6		fig. 2
coke.	33	35	blanche.	"	3,7		"
id.	31	40	grise.	15 à 1600	10		"
id.	41	30	n° 3-4.	1450	5,6		"
id.	41	"	"	"	7		"
id.	41	"	"	"	13		"
MOYENS $3 < \frac{H}{D} < 4$							
coke.	41	63	grise.	"	11,7		fig. 8
id.	41	26	noire.	1100	9,2		"
houille crue.	48 à 55	26	blanche.	2300	7,7		"
coke.	30 à 31	40 à 45	grise.	1350	6		"
id.	"	20	grise.	"	6		11
charbon de bois.	40 à 45	5	blanche.	"	2		"
id.	40	5,5	grise.	900	5,4		"
coke.	50 à 52	30 à 40	blanche.	1450	5 à 6		"
id.	42	18	truitée.	1200	6		13
charbon de bois.	50	28	blanche.	650	3,6		14
anthracite.	40	9	truitée.	"	3		15
coke.	"	"	blanche.	"	8,8		17
id.	33	35 à 40	blanche.	1300	4		16
ÉLANCÉS $\frac{H}{D} > 4$							
charbon de bois.	60	13	bl. ou truitée.	1025	1,3	air froid.	fig. 18
id.	"	"	"	890	"	air chaud.	"
coke.	"	"	"	"	8 à 9	"	19
id.	29	10	grise 1-2.	4000	6,5	"	20
charbon de bois.	50	15	grise.	900	3,0	"	21
id.	47	14	blanche.	800	2	"	22
id.	38 à 40	2,8 à 3	grise.	1350 à 1370	6 à 6,5	air froid.	23
id.	40	3 à 3,2	id.	1150 à 1180	6	air chaud.	24
coke.	41	38,6	grise 3-4.	"	8,6	"	25
charbon de bois.	50 à 52	"	"	1125	2	"	26
id.	48	16	grise.	1000	3,1	"	27
id.	43	6	"	"	6	"	28
id.	48	20	blanche.	660	2,5	"	29
id.	50	25 à 30	id.	650	2	"	"
TYPES $\frac{H}{D} > 4$							
charbon de bois.	"	"	"	"	"	"	fig. 30
coke.	"	"	"	"	"	"	31
id.	"	"	"	"	"	"	32

BULLETIN
DES EXPLOSIONS D'APPAREILS A VAPEUR
ARRIVÉES PENDANT L'ANNÉE 1875.

490

BULLETIN DES EXPLOSIONS D'APPAREILS A VAPEUR

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
23 janvier.	Forge de grosses œuvres. Lyon (Rhône).	Chaudière cylindrique horizontale. Capacité: 3 ^m .283. Timbre: 4 ^k .5. Chauffée par les flammes perdues d'un four et communiquant avec une ancienne chaudière, chauffée à la houille.	La chaudière vivement chauffée dépensait rapidement l'eau qu'elle contenait, et qui n'a pas été remplacée en temps utile; les parois ont rougi et la chaudière s'est ouverte, suivant une ligne de rivets parallèle à l'axe.	Chauffeur assez grièvement brûlé. Quelques contusions.	Défaut d'alimentation.
2 février.	Fabrique de sucre à Muille-Villette (Somme).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs. Capacité: 17 ^m .425. Surface de chauffe: 63 ^m .4. Construite en 1853, non réparée ni éprouvée depuis. La grille était placée sous les bouilleurs, et la première flamme chauffait à la fois les bouilleurs et la partie inférieure du corps principal.	La seconde virole du corps principal s'est ouverte, suivant sa génératrice inférieure, sur une longueur de 0 ^m .70.	Le chauffeur et un ouvrier morts de leurs brûlures. Dégâts matériels insignifiants.	Après un très-long service, une fissure s'est formée au coup de feu, où le métal était altéré. Elle a fini par s'ouvrir sous la pression ordinaire de marche. Si les parois de la chaudière avaient été visitées, le défaut aurait été reconnu et l'accident évité.
10 mars.	Scierie à Torcy, commune de Sedan (Ardennes).	Réservoir d'alimentation en fonte, communiquant avec la chaudière. Timbre de la chaudière: 7 k.	Une partie du réservoir s'est détachée et a été lancée contre le mur de l'atelier. Boursoufflures dans la fonte, qui ne présentait en certains endroits qu'une épaisseur de 2 millim. Au moment de l'accident, le manomètre indiquait une pression de 4 k.	Dégâts matériels.	Mauvaise construction du réservoir. La prudence exigeait que cette pièce, en communication avec la chaudière, fût éprouvée pour la même pression.
12 mars.	Papeterie de Cromelois, commune de Védères (Vaucluse).	Grand cylindre lessiveur horizontal tournant. Timbre: 5 k. Le cylindre porte une large ouverture rectangulaire, surmontée d'un cadre en fer avec porte à charnière d'un côté et à boulons de serrage de l'autre: ces boulons n'étaient pas tous serrés.	Une fuite s'étant déclarée autour du cadre, le surveillant servit le bouton voisin qui se rompit; deux autres écrous cédèrent, la porte se courba, glissa sous les écrous restants et s'ouvrit, en projetant l'eau, la vapeur et les chiffons.	Un ouvrier tué sur le coup, trois autres morts des suites de leurs brûlures, un cinquième grièvement blessé.	D'une part, en faisant fonctionner l'appareil avec un degré de serrage insuffisant; d'autre part, en agissant avec trop de violence sur un des rares boulons qui travaillaient, le surveillant de l'atelier a fini par mettre la porte de la lessiveuse hors d'état de résister à la pression qui tendait à la déformer et à l'ouvrir.
17 mars.	Papeterie de Sainte-Genève, commune d'Uzerche (Corrèze).	Chaudière cylindrique horizontale, un bouilleur placé en dessous. Chaudière: Diamètre intérieur . . . 0 ^m .70 Longueur . . . 4 ^m .85 Dans la région qui avoisine les joints de la communication antérieure du bouilleur avec le corps principal, l'épaisseur de la tôle était réduite par places jusqu'à 2 millim., et, de plus, dans les parties les plus minces, cette épaisseur était divisée en lames distinctes, séparées par une couche d'oxyde déjà ancienne.	Le bouilleur s'est déchiré à l'avant, sur une longueur de 1 ^m .50, et plusieurs morceaux ont été projetés au loin; le reste de l'appareil a été lancé à 10 mètres en arrière. L'explosion a eu lieu au repos.	Massif du fourneau et hangar démolis. Trois ouvriers atteints, dont un a eu le bras fracturé.	On suppose que des suintements existaient depuis longtemps aux clovures de la communication du corps principal et du bouilleur, et qu'ils ont lentement et peu à peu détérioré la tôle au-dessous de cette clovure, au point de ne plus lui permettre de résister à la pression habituelle de marche.
25 mars.	Bateau à vapeur. Porteur n° 22. Canal des Ardennes, écluse n° 7, près de Montgon. Transport des marchandises de Paris à Charleville (Ardennes).	Chaudière horizontale avec foyer intérieur à lames d'eau verticales, du modèle dit à galeries. Pression normale de marche: 1/2 k. effectif. Toutes les faces étaient planes, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur, sauf le foyer proprement dit, dont la partie supérieure était demi-cylindrique, et les deux faces latérales de l'enveloppe, qui présentaient	L'enveloppe extérieure s'est ouverte sur trois de ses faces: le fond, la face latérale de gauche et celle d'arrière. Le fond s'est ouvert de 30°, la chaudière entière ayant été soulevée d'un pareil angle autour de son arête longitudinale inférieure de droite; la face latérale de gauche a pivoté de 90° autour de son arête supérieure, et la face d'ar-	Mécanicien renversé et blessé sans gravité. Le bateau échoué dans l'écluse n° 7, avec sa coque défoncée.	État d'usure de quelques parties de la chaudière et mauvaise conduite du feu.

ARRIVÉES PENDANT L'ANNÉE 1875.

491

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
6 avril.	Bateau à vapeur le Marseillais n° 1, quai de la Joliette, à Marseille (Bouches-du-Rhône).	une légère courbure dans le haut. Des entretoises ou des tirants étaient disposés pour assurer la rigidité des parties planes. La chaudière fonctionnait depuis 25 ans; mais ses fonds avaient été refaits en 1872. Le mécanicien faisait pour la première fois le voyage sur la section, qui présente des conditions spéciales de navigation. Chaudière horizontale à retour de flamme. Deux foyers intérieurs latéraux. Les courbes de section des conduites sont très-complicquées et nécessitent de nombreuses liaisons. Pression de marche : 1 ^k ,5.	rière a tourné autour de son arête verticale de droite. L'explosion a eu lieu pendant l'arrêt.	Le chauffeur tué. Le mécanicien, lancé à la mer et blessé, s'est rétabli.	Amincissement et défaut de soudure d'une tôle à la jonction d'une partie bien entretoisée et d'une autre qui ne l'était peut-être pas suffisamment.
19 mai.	Scierie à Castets (Landes).	Chaudière cylindrique horizontale de 3 mètres de longueur et de 0 ^m ,90 de diamètre, traversée par 18 tubes. Timbre : 5 atmosphères.	Explosion formidable : la chaudière a été séparée en plusieurs pièces, lancées à de grandes distances.	Trois hommes tués, un grièvement blessé, un contusionné. La construction en planches recouvrant la scierie a été lancée au loin, ainsi que les briques du foyer.	Insuffisance d'alimentation. Tube de niveau d'eau absent. Soupapes calées. Imprudences graves, cruellement expiées par la mort de ceux qui les avaient commises.

23 juin.	Établissement de force motrice, avenue de la Roquette, à Paris.	Chaudière cylindrique horizontale à deux bouilleurs. Capacité : 25 ^m ·c. Timbre : 5 k. Tube de niveau accidentellement hors de service sifflet d'alarme paralysé. Dans la région où a commencé la déchirure, la tôle avait été brûlée et corrodée.	Le corps supérieur s'est entr'ouvert suivant la génératrice inférieure sur une longueur de 1 ^m ,50, puis la tôle s'est déchirée perpendiculairement à cette direction, sur les 2/3 de la circonférence. La rupture a eu lieu à la 2 ^e virole à partir de la calotte d'avant. Très-faible détonation. Absence complète de traces de projection d'eau.	Une ouverture tuée, cinq ouvriers blessés. Les conséquences ont été aggravées par la présence d'eau de condensation dans le cylindre.	Construction vicieuse du cylindre (insuffisance du mode de liaison entre la partie cylindrique et la couronne qui supportait les fonds) et imprudence du contre-maitre (appareil laissé en fonctionnement malgré des fuites abondantes).
23 juin.	Clouterie mécanique à	Chaudière horizontale com-	Le bouilleur inférieur a	Chauffeur mort des suites de ses blessures. Deux ouvriers blessés. Dégâts matériels très-peu importants bien que les constructions fussent extrêmement légères.	Manque d'eau et peut-être alimentation intempes-tive.
				Dégâts matériels à la	Disposition défectueuse du

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
23 juin.	Laforge, commune de Mohon (Ardennes).	posée d'un corps cylindrique et de deux bouilleurs latéraux superposés.	éclaté en s'ouvrant suivant la génératrice supérieure de sa virole d'avant.	maçonnerie du fourneau.	générateur, principalement de la communication établie entre les deux tubes réchauffeurs.
(Voir une note sur cet accident dans le 2 ^e volume de 1874, p. 355.)					
27 juin.	Usine à fer de Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).	Chaudière horizontale (avec un bouilleur) faisant partie d'un groupe de 7 générateurs. Timbre 5 k. Chauffage par les gaz des hauts-fourneaux, qui circulaient d'abord sous le corps cylindrique et descendaient ensuite sous le bouilleur, pour se rendre de là à la cheminée. Longueur : 17 mètres. Diamètre : 1 ^m .60. Dôme { Hauteur. . 1 ^m .00 Diamètre. 0 ^m .90 Chaudière nettoyée deux mois avant l'accident.	La première virole du corps a été arrachée tout entière du reste de la chaudière et divisée longitudinalement en deux parties. Le plus grand fragment a été projeté sur la grille placée au-dessous de lui. Le fond antérieur, auquel adhéraient quelques lambeaux de la virole, a été lancé en avant. La chaudière a subi un mouvement de recul de 4 ^m .50 environ, le bouilleur faisant son trou dans le sol en contrebas duquel il se trouvait. Communications avec la chaudière arrachées ou déchirées.	Quatre ouvriers contusionnés, l'un d'eux légèrement brûlé. Massif des chaudières entièrement démolli.	Ensemble de circonstances qui ont permis à la tôle du coup de feu d'acquiescer une température élevée et l'aurait mise hors d'état, en raison de sa faible épaisseur relative et de sa qualité déjà altérée, de résister à un léger excès de pression, occasionné par un afflux accidentellement plus considérable des gaz du haut-fourneau.
3 juillet.	Atelier de construction de métiers mécaniques, à Saint-Pierre-lès-Calais (Pas-de-Calais).	Chaudière en tôle de fer, verticale, cylindrique, à foyer intérieur cylindrique. Le foyer était divisé en deux compartiments par un mur vertical en briques qui s'élevait à 0 ^m .45 au-dessous du ciel. Les flammes et les gaz, au sortir de celui des deux compartiments où	L'explosion a eu lieu au repos 10 à 12 minutes après l'arrêt de la machine, alors que le chauffeur venait de se mettre à manœuvrer la pompe alimentaire pour le nettoyage. Le ciel du foyer s'est détaché, la plaque qui le formait a été retirée concave, déchirée sur tout son pour-	Chauffeur mort des suites de ses blessures. En dehors du bris de la chaudière et de la machine les dégâts matériels sont peu importants.	Imprudence du chauffeur qui, après avoir omis d'alimenter, a involontairement, en nettoyant la pompe, introduit de l'eau sur une surface exposée à une haute température. Cependant on doit observer qu'il n'est pas besoin, pour expliquer l'accident, de recourir au phé-
3 juillet.	Distillerie à Arches (Vosges).	Chaudière horizontale cylindrique, à foyer intérieur cylindrique. En 1869, le foyer avait été brûlé au-dessus de l'autel et l'on y avait rapporté une pièce de 0 ^m .28 de largeur sur 1 mètre de développement et d'une épaisseur de 8 millimètres, tandis que la tôle dans tout le reste du foyer avait 13 millimètres.	Le corps de la chaudière soulevé est retombé à peu de distance. Le ciel du foyer a été retrouvé portant les traces d'un surchauffement et d'ailleurs d'un métal rendu aigre et cassant par des inattentions antérieures.	Aucune conséquence.	Insuffisance de l'alimentation et double faute commise dans la réparation faite en 1869. La tôle employée était trop mince et l'on n'avait pas pris la précaution d'éloigner les joints de la partie du foyer où les flammes étaient le plus intenses.
13 juillet.	Tuilerie de Frémonville (Meurthe-et-Moselle).	Chaudière en tôle formée d'un corps cylindrique : 4 ^m .50 de longueur, 0 ^m .80 de diamètre, et deux bouilleurs de 4 ^m .50 sur 0 ^m .40; communiquant à une deuxième chaudière.	Le chauffeur s'est aperçu trop tard que l'eau manquait; en ce moment la pompe était dérangée; au rétablissement de l'alimentation, la chaudière s'est ouverte. Un des bouilleurs s'est déchiré sur 0 ^m .80 de longueur au-dessus du foyer.	Dégagement de vapeur, sans dégâts ni blessures.	Défaut d'alimentation; arrivée de l'eau sur des parois surchauffées. Les bouilleurs avaient déjà des coups de feu.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
19 juillet.	Forges de Saint-Bernard, près Clairvaux (Aube).	Chaudière cylindrique verticale chauffée par les flammes perdues de quatre fours à puddler. Hauteur : 14 ^m .30. Capacité : environ 20 ^m ³, dont 16 occupés par l'eau. Diamètre : 1 ^m .30. Timbre : 6 atmosphères. En 1865, après une réparation faite aux viroles inférieures et une réépreuve, le timbre a été élevé de 1 k. En 1871, les viroles ainsi réparées furent remplacées par une seule, de hauteur double, dont les feuilles avaient été cintrées perpendiculairement au laminage. Virole inférieure garantie par une enveloppe en briques de hauteur insuffisante. Amincissement des tôles par places.	La chaudière s'est divisée à la naissance de la 3 ^e virole à partir du bas. La partie supérieure, d'une longueur de 4 ^m .20 et d'un poids de 5.000 kilog., a été lancée à une grande hauteur et est retombée à une distance de 70 mètres s'enfonçant de 2 mètres dans le sol. La partie inférieure, de 3 ^m .30 de longueur, composée de 2 viroles, a été projetée en sens inverse à une dizaine de mètres environ. Elle s'était ouverte suivant une génératrice, et presque complètement développée. Les feuilles de la virole inférieure présentaient toutes des ruptures longitudinales en pleine tôle; une de ces feuilles, complètement détachée des autres, avait été lancée dans une direction opposée à celle qu'avait suivie le tronçon dont elle faisait partie.	12 ouvriers tués. 9 ouvriers blessés. Dégâts matériels et projection de matériaux considérables.	Résistance insuffisante de la partie inférieure de la chaudière, due à la fois au cintrage des tôles perpendiculairement au sens du laminage, à l'action trop directe des flammes, qui a pour effet d'altérer le métal; enfin à l'usure du métal dans des rivures recouvertes par la maçonnerie, usure résultant de suintements que leur position ne permettait pas de constater.
5 septem.	Battage de grains, ferme Saint-Michel, à Evreux (Eure).	Locomotive horizontale tubulaire (timbre : 5 k.); venait de subir une restauration complète, qui n'avait laissé de l'ancien appareil que l'enveloppe extérieure.	La face antérieure de l'enveloppe extérieure s'est déchirée et a été lancée à 23 mètres. La partie latérale s'est déchirée et a été projetée à 15 mètres.	Chauffeur et un ouvrier tués. Meule incendiée.	Imprudence dans la conduite de la machine et défaut de construction.
13 septem.	Bateau à vapeur, 10	Chaudière cylindrique	L'explosion a eu lieu au	Le chauffeur et le	Incendie.

14 septem.	Bateau à vapeur le <i>Calvados</i> . En mer. — Côtes du Calvados.	Chaudière cylindrique verticale, munie de trois bouilleurs intérieurs. Timbrée à 4 atmosphères.	Le bateau avait accompli les 2/3 de son parcours, du Havre à Trouville, quand l'explosion eut lieu. La chaudière fut projetée hors du bateau et tomba à la mer.	Un passager écrasé par la chaudière, un autre a eu la jambe cassée; le mécanicien est mort de ses brûlures.	Inconnue (on a supposé que l'eau avait manqué dans la chaudière).
9 octobre.	Imprimerie lithographique, rue du Delta, 26, à Paris.	Chaudière verticale tubulaire à foyer intérieur. Capacité : 400 litres. Surface de chauffe : 3 ^m ². Timbre : 6 k. La partie supérieure terminée par un fond plat en tôle emboutie.	Le fond plat s'est violemment brisé et séparé du corps cylindrique inférieur, en se déchirant suivant la circonférence de l'emboutissage et suivant plusieurs lignes rayonnant du centre à la circonférence. L'enquête établirait que l'accident a eu lieu quand la pompe venait d'être mise en mouvement, 1 h. 1/4 après le commencement du fonctionnement de la machine; or la faible capacité de la chaudière ne permettait pas de laisser celle-ci marcher plus d'une heure sans qu'elle fût alimentée.	Dégâts matériels peu importants.	Imprudence du chauffeur et vice de construction de la chaudière.
10 octobre.	Locomotive n° 708, attelée au train de marchandises n° 4103. K. 239 495, près Toulouse. Chemin de fer du Midi.	A l'origine, le corps cylindrique était complètement en acier (diamètre : 1 ^m .25; timbre : 8 ^k .5; épaisseur : 10 millim.). Plus tard, des piqures nombreuses sur la génératrice inférieure obligèrent à remplacer cette partie par des fonds en tôle de fer. A l'épreuve qui suivit cette réparation, la virole d'a-	La déchirure s'est produite suivant une génératrice située au droit du chanfrein intérieur du recouvrement de deux des tôles d'acier à 0 ^m .20 au-dessous du niveau normal de l'eau. Cette ligne présentait sur toute sa longueur des piqures de 4 à 6 centim. de diamètre et d'une profondeur en général inférieure à 2 millim., mais attei-	La machine et les sept premiers wagons du train ont déraillé. Les cinq agents du train (mécanicien, chauffeur et conducteurs) ont été contusionnés dans les secousses.	Usure exceptionnelle du métal de la chaudière au point où l'explosion s'est produite.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
11 octobre.	Sucrerie de Savy-Berlette (Pas-de-Calais).	Chaudière horizontale, munie de deux bouilleurs inférieurs et d'un réchauffeur latéral, communiquant avec deux autres chaudières.	Le bouilleur de gauche s'est ouvert, suivant une génératrice, au-dessus du foyer, sur une longueur de plus de 2 mètres; l'ouverture atteignait jusqu'à 0 ^m ,64 de largeur. Toute la vapeur et l'eau contenues dans la chaudière, ainsi que dans les deux autres chaudières en communication avec celle-ci, se sont précipitées par cet orifice. La chaudière, soulevée à l'avant, est retombée sur place.	Chauffeur grièvement brûlé. Deux ouvriers blessés, sans gravité. Partie antérieure du fourneau démolie.	Cause restée inconnue.
26 octobre.	Minoterie, rue Henri IV, à Nîmes (Gard).	Chaudière cylindrique horizontale à deux bouill...	Le bouilleur de gauche s'est déchiré suivant une génératrice, au-dessus du foyer, sur une longueur de plus de 2 mètres; l'ouverture atteignait jusqu'à 0 ^m ,64 de largeur. Toute la vapeur et l'eau contenues dans la chaudière, ainsi que dans les deux autres chaudières en communication avec celle-ci, se sont précipitées par cet orifice. La chaudière, soulevée à l'avant, est retombée sur place.	Le chauffeur grièvement brûlé. Dégâts matériels sans importance.	La cause principale est l'imprudence du chauffeur.
30 octobre.	Papeterie de Wizernes (Pas-de-Calais).	Chaudière cylindrique horizontale à fonds sphériques. Capacité : 12 ^m ³. Timbre : 9 k. Elle contenait de la paille ou du bois haché et une solution saturée de soude caustique. Chauffage par un foyer ordinaire, mais, au commencement de l'opération jusqu'à la pression de 5 atmosphères, le chauffage était fait par la vapeur d'un générateur voisin. Des dépôts ont été trouvés adhérents à l'intérieur de la chaudière, quoique la cuite, pendant laquelle a eu lieu l'explosion, fût la première après le nettoyage mensuel. La tôle, après l'explosion, a montré sa tranche divisée en plusieurs feuillets nettement séparés les uns des autres.	La chaudière s'est déchirée suivant la génératrice inférieure de la virole du coup de feu (la 2 ^e à partir de la tête); cette virole s'est détachée du reste de la chaudière, aux clouures, et a été projetée à 46 mètres. Le reste de la chaudière a été repoussé hors du fourneau et, pivotant autour de son fond arrière, s'est renversé contre une muraille qu'il a ébranlée.	Un ouvrier tué sous les décombres. Un ouvrier blessé par la vapeur et la pâte projetée. Dégâts matériels importants.	Négligence de l'agent chargé du nettoyage de la chaudière.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
31 octobre.	Fabrique de bougies, avenue de Paris, à Saint-Denis (Seine).	Appareil autoclave en cuivre, servant à la saponification des suifs; il est cylindrique et terminé par deux calottes hémisphériques. Diamètre : 1 ^m .17. Hauteur totale : 5 mètres. Il datait de 1856 et avait subi de nombreuses réparations dans ses lignes de joints. Soit sur l'appareil en question, soit sur les similaires de la même usine, on a constaté, à l'intérieur, des usures assez uniformes et, à l'extérieur, des espèces de rigoles le long des recouvrements. Au point où l'on a supposé le commencement de la déchirure, l'épaisseur (primitivement de 15 millim.) ne dépasse pas 7 millim. Les appareils étaient en partie recouverts de briques et plongeaient, sur les deux tiers de leur hauteur, dans une fosse où la température est supérieure à 100°.	L'appareil contenait des matières qui y étaient soumises à l'action directe de la vapeur d'eau produite par un générateur timbré à 10 k. L'opération durait 4 heures à 4 heures 1/2. Une demi-heure avant la fin d'une opération, le corps cylindrique s'est déchiré, suivant une génératrice, sur le tiers inférieur de sa hauteur et sur le reste, à peu près suivant un tour d'hélice; enfin, sur la calotte inférieure, la déchirure s'est prolongée suivant un demi grand cercle vertical.	Un ouvrier tué; deux autres grièvement blessés. Dégâts matériels considérables.	Corrosion des tôles de cuivre, sous l'action des matières acides employées ou produites dans l'opération. L'accident eût pu être évité par une meilleure surveillance et un plus facile accès des appareils.
9 novemb.	Fabrique de sucre à Bernes (Somme).	Chaudière composée d'un corps horizontal et de deux bouilleurs réchauffeurs, système Farco-Capelin, 10 ^m . Surface de chauffe : 100 ^m ². Pression : 4 atmosphères.	La tôle du coup de feu s'est déchirée sur une longueur de 2 ^m .20. La chaudière s'est soulevée de 3 ou 3 mètres et est retombée sur son fourneau. Le tuyau de prise de vapeur a été brisé.	Toiture du bâtiment des chaudières gravement avariée.	On avait allumé du feu sous la chaudière vide, pendant qu'on la remplissait à la pompe. L'explosion s'est produite lorsque l'eau du bouilleur avait atteint environ 100°.
26 novemb.	Atelier de chaussures, rue Rochechouart, 54, à Paris.	Locomotive horizontale tubulaire (système Calla) de 15 chevaux. La chaudière ayant eu un de ses tubes crevés, il fut bouché provisoirement à ses deux extrémités par des tampons en fer (25 novembre).	Le lendemain du tamponnement (26 novembre), deux heures après la mise en marche, le tampon d'avant du tube crevé fut projeté violemment, au moment où le chauffeur avait ouvert la porte du foyer pour voir si le tampon tenait bien et charger le feu. L'eau brûlante fit irruption et renversa le chauffeur.	Chauffeur grièvement brûlé, et mort le lendemain.	Si, il n'y avait pas de tube indicateur en verre, mais un seul flotteur Bourdon. L'accident, s'il a été aggravé par un concours de circonstances fortuites, a pour cause, première et unique, la mauvaise obturation du tube brisé et, par suite, un défaut de précaution de la part du contre-maître, qui n'eût pas dû laisser fonctionner l'appareil dans ces conditions.
1 ^{er} décemb.	Distillerie d'essence de géranium, à Delybrahim (province d'Alger).	Chaudière en tôle de fer, horizontale. Forme d'un parallépipède rectangle allongé avec ses arêtes arrondies. Surface de chauffe : 2 ^m .7. Capacité : 1 ^m .c. Timbre : 2 k. Epaisseur du métal : 8 millim. Aucune armature intérieure. La chaudière fournissait la chaleur nécessaire à la distillation de deux alambics. La vapeur, après avoir circulé dans les deux serpentins, retournait à la chaudière. L'appareil marchait habituellement, et notamment au moment de l'accident, à une pression de 4 ^k .5.	Trois des parois de la chaudière (la paroi d'avant, la paroi supérieure et une des parois latérales) se sont déchirées sur tout leur pourtour et ont été projetées, chacune de son côté, à une distance plus ou moins grande. Les trois autres faces restées réunies n'ont pas quitté l'emplacement du fourneau; mais elles ont comme pivoté d'un angle de 180° autour d'un axe vertical, de telle sorte que l'arrière de la chaudière est venu se mettre dans la direction de l'avant. L'explosion paraît s'être effectuée en deux périodes excessivement rapprochées : la première, qui correspond à une déchirure dans la partie inférieure de la chaudière, s'est manifestée par un violent jet de flammes, sorti de l'avant du foyer, et a dû être accompagnée	Chauffeur tué. Un ouvrier gravement blessé.	Cause principale : grand excès de pression dû à l'imprudence du chauffeur; mais la chaudière n'avait pas été construite dans des conditions de solidité suffisantes pour fonctionner à l'abri de tout danger, même à la pression correspondante au timbre.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.	
2 décembre.	Fabrique d'acide pyrogallique, à Scata (Corse).	Chaudière en cuivre, cylindrique, à fonds bombés. Appareil non éprouvé et qu'un tampon transformait en générateur fermé, quand on voulait faire monter le jus dans des réservoirs supérieurs.	d'un soulèvement vertical de la chaudière; la deuxième, qui a donné lieu à une violente détonation, a produit le déchirement complet de la chaudière, en même temps que son déplacement horizontal (une ligne de rupture suivant une rivure, les autres en pleine tôle dans les parties embouties ou cintrées).	Appareil non déclaré et inconnu de l'administration, qui n'a appris l'explosion que par la voix publique et alors que les traces en avaient disparu.	Un homme tué. Un autre blessé.	Inconnue.
4 décembre.	Sucrerie à Sainte-Menehould (Marne).	Récipient de vapeur d'un filtre pour la décoloration des jus. Ce filtre est cylindrique en tôle avec fonds en fonte. Hauteur : 3 ^m . 25. Diamètre: 1 mètre. Epaisseur de la tôle : 5 millim. Tôle aigre et de qualité inférieure. La vapeur est produite par une chaudière timbrée à 6 k. L'appareil ne portait pas de soupapes chargées à une pression inférieure au timbre de la chaudière d'alimentation.	L'appareil s'est déchiré en pleine marche, suivant la ligne des rivets d'attache de la tôle avec le fond inférieur; la partie cylindrique a été projetée à travers la toiture.	Cinq ouvriers blessés peu gravement par la chute des débris de la toiture.	Mauvaises conditions dans lesquelles fonctionnait l'appareil (pression pouvant atteindre celle de la chaudière génératrice; épaisseur de 5 millim. seulement, tôle aigre et de qualité inférieure).	

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

	NOMBRES.	TUÉS.	BLESSÉS.
1^o Par nature d'établissements.			
Usines à fer.	3	12	14
Sucres (fabriques de).	4	1	8
Scieries.	1	3	1
Papeteries.	2	3	1
Bateaux à vapeur.	3	5	5
Tanneries.	4	5	2
Force motrice.	4	1	2
Clouterie.	1	1	2
Atelier de construction.	1	1	2
Distilleries.	1	1	2
Imprimerie.	2	1	2
Chemins de fer.	1	1	1
Batage de grains.	1	1	1
Minoterie.	1	1	1
Bougies (fabrique de).	1	2	5
Acide pyrogallique (fabrique de).	1	1	1
Chaussures (fabrique de).	1	1	1
Tuilerie.	1	1	1
Totaux.	30	37	48
2^o Par espèce de chaudières.			
avec foyer sans foyer			
intérieur	10	6	16
extérieur	1	3	1
horizontal	1	1	1
vertical	1	1	1
parallépipède.	1	12	9
de bateaux (horizontales).	1	1	1
de locomotive	1	1	3
de locomobile	1	5	3
verticales.	2	3	5
Réceptifs.	1	3	5
Totaux.	30	37	48
3^o D'après les causes.			
<i>Conditions défectueuses de construction :</i>			
Mauvaises dispositions.	2	1	1
Conditions défectueuses d'entretien :			
Usure.	2	3	4
Corrosion extérieure.	4	12	16
Corrosion intérieure.	1	1	5
Mauvais emploi des appareils.	1	1	1
Excès de pression.	1	4	6
Manque d'eau.	2	3	4
Imprudence ou négligence du chauffeur.	1	1	1
Mauvais nettoyage.	1	1	1
Causes restées inconnues.	4	6	5
RÉCÉPIENTS.	1	1	1
Totaux.	30	37	48

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
3 décembre.	Fabrique d'acide pyrogallique, à Scata (Corse).	Chaudière en cuivre, cylindrique, à fonds bombés. Appareil non éprouvé et qu'un tampon transportait en générateur fermé, quand on voulait faire monter le jus dans des réservoirs supérieurs.	d'un soulèvement vertical de la chaudière, la deuxième, qui a donné lieu à une violente détonation, a produit le déchirement complet de la chaudière, en même temps que son déplacement horizontal (une ligne de rupture suivant une rivure, les autres en pleine toile dans les parties embouties ou châtées).	Un homme tué. Un autre blessé.	Inconnue.
4 décembre.	Sucrerie à Sainte-Ménéould (Marne).	Récipient de vapeur d'un filtre pour la décoloration des jus. Ce filtre est cylindrique en toile avec fonds en fonte. Hauteur : 3 ^m . 25. Diamètre : 1 mètre. Épaisseur de la toile : 5 millim. Toile aigre et de qualité inférieure. La vapeur est produite par une chaudière timbrée à 6 k. L'appareil ne portait pas de soupapes chargées à une pression inférieure à celle de la chaudière d'alimentation.	L'appareil s'est déchiré en pleine marche, suivant la ligne des rivets d'attache de la toile avec le fond inférieur, la partie cylindrique a été projetée à travers la toiture.	Cinq ouvriers blessés peu gravement par la chute des débris de la toiture.	Mauvaises conditions dans lesquelles fonctionnait l'appareil (pression pouvant atteindre celle de la chaudière génératrice; épaisseur de 5 millim. seulement, toile aigre et de qualité inférieure).

	NOMBRES.	TUÉS.	BLESSÉS.	
1° Par nature d'établissements.				
Usines à fer	3	12	14	
Sucreries (fabriques de)	4	2	8	
Scieries	9	3	1	
Papeteries	3	5	5	
Bateaux à vapeur	4	5	3	
Teinturerie	1	1	2	
Force motrice	1	1	5	
Clouterie	1	1	2	
Atelier de construction	1	»	»	
Distilleries	1	1	»	
Imprimerie	2	1	1	
Chemin de fer	1	»	»	
Battage de grains	1	»	5	
Minoterie	1	2	»	
Bougies (fabrique de)	1	1	1	
Acide pyrogallique (fabrique d')	1	1	2	
Chaussures (fabrique de)	1	1	1	
Tuilerie	1	1	»	
Totaux	30	37	48	
2° Par espèce de chaudières.				
CHAUDIÈRES avec foyer sans foyer intérieur	horizontales avec ou sans bouilleurs	10	6	16
	tubulaire	1	3	1
	système Belleville	1	»	1
	vertic. chauffée par flammes perdues	1	»	9
	parallépipède	1	12	1
	horizontale	1	1	1
	de bateaux (horizontales)	1	»	»
	de locomotive	4	5	3
	de locomobile	1	»	5
	verticales	2	3	»
	RÉCIPIENTS	2	1	»
	Totaux	4	6	13
	3° D'après les causes.			
CHAUDIÈRES	<i>Conditions défectueuses de construction :</i>			
	Mauvaises dispositions	2	1	»
	<i>Conditions défectueuses d'entretien :</i>			
	Usure	2	3	1
	Corrosion extérieure	4	12	16
	Corrosion intérieure	1	»	5
	<i>Mauvais emploi des appareils :</i>			
	Excès de pression	1	1	1
	Manque d'eau	9	5	6
	Imprudence ou négligence du chauffeur	2	3	»
	Mauvais nettoyage	1	1	1
	<i>Causes restées inconnues.</i>			
	RÉCIPIENTS	4	5	5
Totaux	4	6	13	
Totaux	30	37	48	

BULLETIN.

Exposé de la situation de l'Algérie par le gouverneur général civil à l'ouverture de la session du conseil supérieur de gouvernement (15 novembre 1877).

(EXTRAIT.)

III. SITUATION ÉCONOMIQUE.

§ 2. — Industrie.

Mines. — Malgré la crise que traverse actuellement l'industrie minière, par suite de l'abaissement du prix des métaux et du ralentissement général des affaires en Europe, les exploitations en Algérie continuent à prendre de l'importance. Celles de Soumah et de Couraya, dans la province d'Alger, de Beni-Saf et de Caramata, dans celle d'Oran, continuent à s'organiser en vue d'extractions importantes. A Aïn-Mokta, les travaux continuent avec la même activité. Cette dernière exploitation, si riche et si puissante, a donné à elle seule, de juillet 1876 à juillet 1877, 365.000 tonnes de minerais, représentant un revenu net imposable de 2.227.000 fr.

Les extractions se soutiennent également à la mine de plomb argentifère de Kef-oum-Teboul, près de La Calle, où elles ont atteint 12.175 tonnes, dans le même espace de temps.

La mine de zinc d'Hammam N'baïls, maintenant desservie par le chemin de fer de Bône à Guelma, est organisée par une production annuelle d'au moins 10.000 tonnes.

D'importants travaux d'exploitation ont été repris aux mines de cuivre et de plomb argentifère du cap Cavallo.

Dans la province d'Alger, on a découvert depuis quelque temps, entre Palestro, le Fondouk et Rovigo, des gîtes importants de zinc et de plomb, déjà demandés par des compagnies sérieuses.

On s'était occupé, autrefois, de l'idée de traiter ici, sur place,

les minerais pauvres, en apportant le charbon nécessaire sur les navires qui viennent chercher les minerais riches. Ce projet vient d'être repris : il est étudié sérieusement, et une société importante s'est déjà constituée en vue de cette entreprise.

Le nombre d'ouvriers employés au 1^{er} juillet dernier, tant dans les mines concédées que sur les travaux de recherches, est de 5.659, dont 380 dans la province d'Alger, 858 dans celle d'Oran et 2.401 dans celle de Constantine. Il y a eu sur 1876 une diminution qu'explique le ralentissement des exploitations par suite de la crise que subit la métallurgie.

La quantité de minerais extraits dans le premier semestre de cette année s'élève à 255.213 tonnes (fer, cuivre, plomb, zinc, antimoine et chrome). Quant aux exportations, elles s'élèvent, pour le premier semestre de cette année, à 255.875 tonnes; elles n'étaient pour le premier semestre 1876 que de 237.438 tonnes; il y a donc une augmentation de 18.437 tonnes.

(Journal officiel du 3 décembre 1877, p. 8017).

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'AUTRICHE EN 1875.

Les *Annales des mines* ont publié, dans le bulletin de la 6^e livraison de 1876 (7^e série, t. X), la statistique minière de l'Autriche en 1874. En donnant aujourd'hui les chiffres relatifs à l'année 1875, nous continuerons à suivre à peu près l'ordre adopté pour 1874; nous avons été toutefois amené à introduire une modification qu'il nous paraît essentiel de signaler pour éviter les fausses interprétations.

La seule monnaie dont on se serve couramment en Autriche est le papier-monnaie, qui subit toujours, par rapport à l'argent, une dépréciation sensible et très-variable d'une année à l'autre. Le florin autrichien papier, dont la valeur nominale est de 2',50, avait eu, en 1874, un valeur effective moyenne de 2',35, et c'est sur cette dernière base qu'avait été effectuée la conversion des monnaies dans le travail relatif à 1874. Cette manière de faire nous a paru présenter autant d'inconvénients que d'avantages; elle pourrait conduire notamment à des résultats moins exacts dans la comparaison des diverses années entre elles.

Le prix du change doit cependant être pris en grande considération pour les échanges internationaux et pour l'estimation de la valeur des métaux précieux. Pour uniformiser, nous n'en avons tenu compte dans aucun des calculs suivants; mais, afin de permettre d'opérer telles conversions que le lecteur jugerait utiles, nous donnons ici la valeur effective, en francs, du florin papier, pendant l'année 1875, d'après le *Journal officiel*.

	fr.
1 ^{er} janvier	2,24
1 ^{er} février	2,24
1 ^{er} mars	2,25
1 ^{er} avril	2,25
1 ^{er} mai	2,25
1 ^{er} juin	2,25
1 ^{er} juillet	2,24
1 ^{er} août	2,25
1 ^{er} septembre	2,24
1 ^{er} octobre	2,23
1 ^{er} novembre	2,21
1 ^{er} décembre	2,20
Moyenne	2,237

On voit, d'après ce tableau, que pour établir la valeur vraie, pour l'étranger, d'une tonne de charbon ou de fer qu'on ferait venir d'Autriche, ou de la production de ce pays en or et en argent, il suffirait de multiplier les prix que nous indiquons par le rapport de 2,257 à 2,50 ou par 0,895. Il résulte aussi du mode de conversion adopté que les valeurs admises pour 1874 ne sont pas celles qui ont été données aux *Annales des mines* en 1876, mais bien ces valeurs multipliées par le rapport de 2,50 à 2,35 ou par 1,065.

I. — MINES.

Le tableau n° I donne la production des différentes mines de l'empire d'Autriche (à l'exclusion de la Hongrie), la valeur des produits, le nombre d'ouvriers occupés. Il montre que, malgré une certaine diminution du nombre des ouvriers, le chiffre total de la production s'est légèrement accru; malheureusement, il n'en est pas de même de la valeur des produits.

L'Autriche a produit, en 1875, 11.400.000 tonnes de combustibles minéraux, représentant une valeur de 85 millions de francs environ, soit 92 p. 100 du poids et 79 p. 100 de la valeur de l'ensemble des matières minérales extraites. Les minerais de fer représentent 5 p. 100 du poids et 6 p. 100 de la valeur, les mine-

I. — Production des mines en 1875.

NATURE des matières extraites.	POIDS. tonnes.	VALEUR		NOMBRE				PRINCIPALES PROVINCES productrices.
		totale. francs.	par tonne. francs.	de mines.	Hommes.	Femmes.	Enfants.	
Huile.	4.549.623	46.470.540	10,25	389	31.992	2.402	930	Bohême, Silésie, Moravie, Galicie.
Lignite.	6.854.265	38.561.257	5,62	869	21.546	1.879	200	Bohême, Styrie.
Graphite.	20.316	442.645	55,50	53	775	21	25	Bohême, Moravie, Styrie.
Asphalte.	154	4.355	28,25	12	96	»	26	Dalmatie, Tyrol.
Huiles minérales.	614	470.597	277,75	2	116	»	116	Galicie.
Minerais de fer.	704.984	6.834.295	9,87	241	7.270	166	193	Styrie, Carinthie, Bohême.
de manganèse.	40.690	398.432	30,75	40	84	1	85	Buckowine, Carinthie.
de cuivre.	5.351	742.042	138,25	23	1.043	21	58	Salzhourg, Tyrol, Buczkowine.
de plomb.	6.888	2.532.235	307,50	71	2.417	852	430	Carinthie, Bohême.
d'argent.	8.068	6.042.002	745,00	92	4.619	44	129	Bohême.
d'or.	140	98.977	263,00	5	157	1	158	Salzhourg, Bohême.
de mercure.	32.797	2.533.807	97,50	3	804	15	89	Carinthie (Idria).
de zinc.	23.728	1.003.782	39,00	41	1.065	214	144	Galicie, Carinthie.
d'étain.	2.020	»	»	17	33	1	1	Bohême; valeur non estimée.
de bismuth.	5	»	»	4	25	»	25	Bohême; valeur comprise dans celle des mines d'argent.
de cobalt.	142	61.655	55,06	4	58	»	58	Salzhourg.
d'antimoine.	424	421.852	296,12	4	192	19	16	Bohême.
d'arsenic.	41	280	25,45	1	5	»	5	Salzhourg.
d'uranium.	6	147.690	18.331,75	3	36	»	36	Bohême.
de chrome.	néant	néant	néant	1	1	»	1	»
de tungstène.	36	5.490	150,00	1	10	»	10	Bohême.
de soufre.	12.543	281.947	22,50	14	530	2	532	Galicie, Bohême.
Schistes vitrioliques et alu- minères.	124.244	204.615	1,62	21	447	10	37	Bohême.
Totaux.	49.356.183	407.414.977	»	4.786	76.083	5.653	1.843	83.581
En 1874.	12.022.909	345.698.500	»	1.801	79.575	5.871	1.985	87.431

rais métalliques 5 p. 100 du poids et 15 p. 100 de la valeur du même ensemble.

Près des trois quarts des mineurs (74 p. 100) sont occupés à l'extraction des combustibles minéraux; 9 p. 100 travaillent dans les mines de fer, 17 p. 100 dans les mines métalliques. C'est donc, en Autriche comme partout, la production des combustibles minéraux qui a une importance prédominante sous tous les rapports.

Les tableaux n° II et III indiquent de quelle manière la production des houilles et lignites s'est répartie entre les diverses provinces de l'empire d'Autriche.

La Bohême, la Silésie, la Moravie, la Galicie, pour la houille; la Bohême et la Styrie, pour les lignites, sont donc les seules provinces dont la production atteigne un chiffre important. Pour l'ensemble des deux combustibles, voici quelle a été la part de chaque province dans la production totale :

Bohême	63,37 p. 100
Styrie	13,61 —
Silésie	9,86 —
Moravie	5,06 —
Galicie	2,76 —
Haute Autriche	2,27 —
Autres provinces	3,07 —

100,00

La Bohême est donc de beaucoup la mieux dotée de toutes les provinces. C'est aussi la seule où les industries de toute nature aient acquis un développement considérable.

En comparant les résultats de 1875 à ceux des années précédentes, on voit que la part des lignites dans la production totale des combustibles minéraux va toujours en croissant. Elle a été en effet :

En 1861	de 43,5 p. 100
En 1870	de 48 —
En 1874	de 59 —

et a atteint, en 1875, le chiffre de 60,9 p. 100.

La part des diverses provinces, dans la production générale, n'a pas sensiblement changé. Enfin la valeur moyenne de la tonne est tombée, pour la houille, de 11^f,02 à 10^f,25; pour le lignite, de 6^f,25 à 5^f,62. Cette diminution des prix de vente a amené, malgré l'augmentation de la production (512.833 tonnes), une diminution de 8.951.846 francs dans la valeur des produits.

II. — Production de la houille, en 1875.

PROVINCES.	NOMBRE		POIDS EXTRAIT		VALEUR		PART de chaque province dans la production totale. p. 100.
	d'exploitations.	d'ouvriers.	total.	par ouvrier.	totale.	par tonne.	
			tonnes.	tonnes.	francs.	francs.	
Bohême	246	18.973	2.586.691	136	21.195.337	9,37	56,85
Basse Autriche	39	579	40.123	69	673.957	16,75	0,88
Haute Autriche	3	155	383	2	9.690	25,02	0,01
Moravie	18	3.708	481.356	130	6.230.435	12,87	10,59
Silésie	15	9.628	1.123.625	116	12.826.737	11,37	24,70
Styrie	19	195	4.786	24	88.890	18,62	0,10
Carinthie	"	"	"	"	"	"	"
Tyrol	1	4	"	"	"	"	"
Carniole	1	1	"	"	"	"	"
Dalmatie	"	"	"	"	"	"	"
Galicie	17	2.031	312.458	153	2.445.472	7,87	6,87
Totaux et moyennes	359	35.274	4.549.623	129	46.470.540	10,25	100,00
En 1874	369	36.980	4.471.234	121	52.207.420	11,62	"
En plus en 1875	"	"	78.389	8	"	"	"
En moins —	10	1.706	"	"	5.736.880	1,37	"

III. — Production des lignites, en 1875.

PROVINCES.	NOMBRE		POIDS EXTRAIT		VALEUR		PART de chaque province dans la production totale. p. 100.
	d'exploitations.	d'ouvriers.	total.	par ouvrier.	totale.	par tonne.	
			tonnes.	tonnes.	francs.	francs.	
Bohême	669	13.431	4.638.003	345	18.901.155	4,12	67,70
Basse Autriche	14	332	45.536	137	413.917	9,12	0,66
Haute Autriche	5	1.106	258.453	234	1.781.015	6,87	3,77
Moravie	14	732	95.364	130	500.797	5,25	1,30
Silésie	1	5	1.493	299	14.042	9,37	0,02
Styrie	106	8.041	1.547.336	192	13.879.645	9,00	22,59
Carinthie	19	1.005	63.457	63	810.595	12,75	0,93
Tyrol	3	230	21.583	93	415.360	19,25	0,32
Carniole	18	878	138.659	158	1.043.953	7,50	2,02
Dalmatie	6	150	5.316	36	84.445	15,75	0,08
Styrie	1	652	33.054	51	693.332	21,00	0,48
Galicie	9	46	2.960	64	20.527	7,12	0,44
Bukowine	1	4	"	"	"	"	"
Yaraberg	1	4	"	"	"	"	"
Graz et Gradišca	2	9	20	2	450	22,50	"
Totaux et moyennes	869	26.625	6.831.265	257	38.561.237	5,62	100,00
En 1874	865	27.449	6.409.359	233	40.451.042	6,25	"

Mines de fer. — Le tableau suivant indique la répartition de la production des minerais de fer entre les diverses provinces. La statistique autrichienne n'indique malheureusement pas d'une manière assez complète la nature des minerais produits en 1875; nous n'avons pu donner que le total, sans égard à la constitution minéralogique.

IV. — Production des minerais de fer, en 1875.

PROVINCES.	NOMBRE		POIDS EXTRAIT		VALEUR	
	de mines.	d'ouvriers.	total.	par ouvrier.	totale.	par tonne.
			tonnes.	tonnes.	francs.	francs.
Bohême.	104	1.185	93.457	78	637.267	6,75
Basse Autriche.	6	41	1.721	42	22.772	13,25
Haute Autriche.	2	"	"	"	"	"
Salzbourg.	10	43	5.339	124	43.352	8,00
Moravie.	21	953	79.127	83	854.320	10,75
Silésie.	11	388	8.896	23	129.065	14,50
Bukowine.	4	215	6.236	29	40.917	6,50
Styrie.	34	2.428	353.115	145	3.018.470	8,62
Carinthie.	10	1.630	130.622	80	1.606.597	12,25
Tyrol.	7	143	9.038	62	213.900	23,62
Carniole.	18	352	11.361	32	199.315	17,50
Galicie.	14	249	6.070	24	69.247	11,37
Totaux et moyennes.	241	7.629	704.984	92	6.834.225	9,87
En 1873.	213	8.753	906.484	104	9.253.535	10,25
Diminution en 1875	2	1.124	201.500	12	2.419.310	0,38

On voit qu'en 1875 la production a baissé dans une forte proportion, et la valeur créée, dans une proportion plus forte encore, par rapport à 1874. La Styrie et la Carinthie, qui avaient produit 593.520 tonnes en 1874, n'en ont plus produit que 485.757 en 1875.

Métaux autres que le fer, et mines diverses. — En comparant les chiffres du tableau n° I (page 507) avec ceux du tableau analogue publié pour 1874 (*), on constate :

1° Une diminution sur le poids et la valeur totale des minerais d'or, de nickel et de cobalt, de bismuth, d'antimoine, d'arsenic, de chrome, d'asphalte, de graphite;

2° Une augmentation sur le poids et la valeur totale des minerais d'argent, de plomb, de zinc, d'étain, d'urane, de soufre, de manganèse et des huiles minérales;

(*) Voir *Annales des mines*, 7^e série, tome X, page 637.

3° Une diminution du poids, avec augmentation de la valeur des minerais de mercure, de cuivre, et des matières vitrioliques et alunifères.

En résumé, la comparaison des années 1874 et 1875 donne les résultats suivants :

	POIDS EN TONNES.			
	1874.	1875.	Augmentation.	Diminution.
Combustibles minéraux.	10.909.139	11.421.972	512.833	"
Minerais de fer.	906.484	707.984	"	201.500
Mines métalliques et diverses.	207.286	229.227	21.941	"
Total.	12.022.909	12.356.183	333.274	"
	VALEUR EN FRANCS.			
Combustibles minéraux.	94.271.220	85.349.374	"	8.951.846
Minerais de fer.	9.253.535	6.834.225	"	2.419.310
Mines métalliques.	12.173.745	14.961.378	2.787.638	"
Total.	115.698.500	107.244.977	"	8.583.523

II. — USINES.

La production totale des usines a subi, par rapport à l'année 1874, une diminution considérable qui porte presque entièrement sur la fonte d'affinage. La valeur des produits est descendue de 72 millions à 65 millions de francs, soit de 11 p. 100 environ.

Le tableau suivant (n° V) donne pour chaque substance le poids et la valeur des produits, le nombre des usines et celui des ouvriers qui y sont employés.

Les usines à fer ont fourni à elles seules 95 p. 100 du poids et 41 p. 100 de la valeur de l'ensemble des produits; elles ont occupé les quatre cinquièmes du nombre total des ouvriers. A ce titre, et en raison surtout de la qualité toute spéciale des fontes de Styrie et de Carinthie, elles méritent d'être étudiées avec quelque détail.

La production totale des fontes a été de 305.459 tonnes, au lieu de 352.157 en 1874. Sur ces 305.459 tonnes, les fontes d'affinage en comprennent 262.574 ou 86 p. 100, et les fontes de moulage 41.185, ou 14 p. 100 de l'ensemble.

Le tableau suivant indique pour chaque province le nombre des usines et des hauts-fourneaux, le nombre des ouvriers, le poids et la valeur des deux catégories de fonte produites.

V. — Production des usines, en 1875.

NATURE des matières produites.	POIDS. tonnes.	VALEUR DES PRODUITS		d'usines.	NOMBRE				OBSERVATIONS.	
		totale. francs.	par tonne. francs.		D'OUVRIERS EMPLOYES.					
					Hommes.	Femmes.	Enfants.	Total.		
Fonte { d'affinage.	262.274	36.587.525	139,50	123	8.224	275	192	8.691	Les ouvriers qui produisent des litharges sont comptés avec ceux qui produisent l'argent.	
de moulage.	41.185	8.234.562	200,00	8	136	2	"	138		
Cuivre.	394	945.215	2.399,25	8	115	15	"	130		
Plomb.	4.133	2.637.605	638,12	26	"	"	"	"		
Litharge.	2.977	1.704.242	572,50	1	"	"	"	"		
Argent.	25	5.705.655	le kil. 229,61	4	364	26	22	412		Les ouvriers ont été comptés à la production des minerais d'or; les 14 kilog. produits ne sont pas de l'or fin.
Or.	0,014	38.362	— 2.645,70	4	"	"	"	"		
Mercure.	370	3.874.155	10.470,25	2	178	2	"	180		
Zinc.	2.940	1.711.802	582,25	7	430	55	18	503		
Etain.	160	391.562	2.448,73	3	76	"	9	85		
Nickel.	22	118.075	5.423,50	2	5	"	"	5		
Bismuth.	néant	"	"	"	"	"	"	"		
Antimoine.	74	72.690	982,30	1	6	"	"	6		
Arsonic.	4	2.682	614,12	1	3	"	"	3		
Soufre.	947	205.670	217,25	3	40	8	"	48		
Jaune d'urane.	4,6	246.590	53.660,00	1	14	"	"	14		
Alun.	1.718	347.517	202,25	7	103	29	"	132		
Sulfate de fer.	1.212	94.542	78,00	13	68	23	"	91		
Couleurs minérales.	8	600	75,00	"	"	"	"	"	Les ouvriers ont été comptés avec ceux des mines de fer.	
Totaux.		62.916.053		206	9.762	435	244	10.438		
En 1874.		72.031.320		227	9.985	488	289	10.732		

VI. — Production des fontes, en 1875.

PROVINCES.	NOMBRE				FONTE D'AFFINAGE.			FONTE DE MOULAGE.			POIDS total. tonnes.	VALEUR totale. francs.
	d'usines.	DE HAUTS-FOURNEAUX		d'ou- vriers.	Poids. tonnes.	VALEUR		Poids. tonnes.	VALEUR			
		hors feu.	en feu.			totale. francs.	par tonne. francs.		totale. francs.	par tonne. francs.		
Bohême.	30	29	24	3.546	26.994	3.522.702	130,50	24.965	3.980.925	159,50	51.960	7.503.627
Basse Autriche.	4	3	2	130	17.267	2.394.405	136,87	67	18.297	272,50	17.535	2.409.702
Salzbourg.		1	2	45	2.313	289.932	125,37	41	7.392	181,62	2.354	297.325
Moravie.	12	11	12	1.345	26.143	4.093.897	156,75	7.574	1.787.442	236,00	33.688	5.884.340
Silésie.	6	"	7	834	18.650	2.526.570	135,50	1.852	596.990	322,37	20.502	3.123.560
Bukowine.	4	1	3	93	501	92.482	184,50	239	87.185	365,12	740	179.667
Styrie.	22	6	30	1.421	145.529	13.977.835	138,25	2.241	570.977	255,00	117.770	16.548.812
Carinthie.	17	7	16	754	46.535	6.289.572	135,42	470	413.232	240,87	47.005	6.402.805
Tyrol.	3	2	2	145	2.904	475.545	163,75	774	265.570	345,00	3.678	741.115
Carniole.	11	7	4	265	3.607	705.157	195,50	801	145.297	181,37	4.408	850.455
Galicie.	9	3	3	413	1.659	222.425	133,75	2.161	661.252	306,00	3.820	883.677
Totaux et moyennes.	123	70	105	8.691	262.274	36.587.525	139,50	41.185	8.234.562	200,00	303.459	44.822.087
En 1874.	125	55	121	9.055	290.665	44.392.732	152,75	41.492	9.002.497	247,00	332.157	53.394.930
En plus en 1875.	"	15	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
En moins en 1875.	2	"	16	364	28.391	7.805.207	13,25	307	767.635	17,00	28.698	8.572.843

Le tableau suivant, qui se déduit du tableau n° VI, indique l'importance relative de chaque province dans la production générale :

	RAPPORT DE LA PRODUCTION DE CHAQUE PROVINCE à la production totale, en :		
	fonte d'affinage.	fonte de moulage.	fontes d'affinage et de moulage réunies
	p. 100.	p. 100.	p. 100.
Bohême	10,30	60,60	17,14
Basse Autriche	6,66	0,17	5,77
Salzbourg	0,87	0,10	0,76
Moravie	9,95	18,39	11,11
Silésie	7,10	4,50	6,75
Bukowine	0,48	0,58	0,23
Styrie	44,09	5,14	38,85
Carinthie	17,76	1,15	15,50
Tyrol	1,10	1,88	1,20
Carniole	1,37	1,95	1,44
Galicie	0,62	5,24	1,25
	100,00	100,00	100,00

On voit que la Styrie et la Carinthie produisent plus des 5/5 de la fonte d'affinage, la Bohême et la Moravie les 4/5 de la fonte de moulage.

La statistique officielle ne donne pas de renseignements complets sur les combustibles consommés; nous y voyons cependant que les hauts-fourneaux de Styrie et de Carinthie ont consommé, en 1875 :

Charbon de bois	1.069.517 mètres cubes
Bois torréfié	113 —
Lignite	17.167 tonnes.
Coke	7.583 —

et, qu'en Styrie, 7.550 tonnes de fonte ont été produites avec un mélange de charbon de bois de lignite et de coke, 560 tonnes avec un mélange de charbon de bois et de bois torréfié, 7.207 tonnes avec un mélange de charbon de bois, de bois torréfié et de lignite.

La comparaison des chiffres de 1875 à ceux de 1874 montre d'ailleurs combien l'industrie du fer a été éprouvée en 1875; il y a eu, comme le montre le tableau n° VI (page 513), diminution sur tous les chapitres; la production des fontes d'affinage a diminué de 10 p. 100, leur valeur de plus de 20 p. 100. La production de la fonte de moulage est restée presque égale à celle de 1874, mais la valeur a diminué de plus de 9 p. 100. Pour l'ensemble des deux sortes, la production a diminué de 9 p. 100, la valeur de 19 p. 100.

Métaux autres que le fer. — En comparant les résultats de 1875 à ceux de 1874, on voit que la production des substances autres que le fer a *augmenté* pour le cuivre, la litharge, l'argent, le zinc, l'étain, le soufre; *diminué* pour le plomb, le nickel, le bitmuth, l'antimoine, l'arsenic, le sulfate de fer; qu'elle est *restée à peu près stationnaire* pour l'or, le mercure, l'urane et l'alun.

La valeur des produits a *augmenté* pour le cuivre, la litharge, l'argent, le zinc, l'étain, l'urane; elle a *diminué*, au contraire, pour l'or, le mercure, le nickel, l'antimoine, l'arsenic, le soufre, le sulfate de fer et l'alun.

La valeur de la tonne de chaque substance est restée à peu près stationnaire, sauf pour le nickel, l'antimoine, l'urane, pour lesquels elle a augmenté; l'étain, l'arsenic, et surtout le mercure, pour lesquels elle a fortement diminué.

En résumé, en comparant la valeur des produits de 1874 et de 1875, on arrive au résultat suivant :

	1874.	1875.	DIMINUTION EN 1875.
	francs.	francs.	francs.
Fontes	53.394.929	44.822.929	8.572.842
Métaux divers	18.636.391	18.093.966	542.425
Totaux	72.031.320	62.916.895	9.114.267

III. — SALINES.

VII. — Production des salines, en 1875.

PROVINCES.	PRODUCTION.				VALEUR. francs.	NOMBRE d'ou- vriers.
	Sel gemme.	Sel raffiné.	Sel marin.	Sel pour l'in- dustrie.		
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.		
Haute Autriche	239	48.760	»	1.379	12.278.555	1.151
Salzbourg	96	22.794	»	78	5.317.607	326
Bukowine	944	972	»	8	420.980	41
Styrie	179	13.801	»	3	3.346.612	362
Tyrol	32	17.725	»	»	3.551.535	246
Dalmatie	»	»	6.276	»	460.852	766
Istrie	»	»	30.803	429	590.625	4.559
Galicie	73.279	35.821	»	8.981	25.839.205	1.354
Totaux	74.740	139.875	37.079	10.570	51.505.972	8.805
En 1875	81.082	153.227	30.372	13.945	56.706.917	9.230

IV. — ACCIDENTS.

Le tableau suivant, n° VIII, donne le nombre des accidents suivis de mort, et le nombre des accidents suivis de blessures graves, survenus dans les diverses exploitations minières de l'Autriche, en 1875.

VIII. — Accidents, 1875.

NATURE des mines.	NOMBRE d'ouvriers.	DANS des puits verticaux.		DANS des puits et plans inclinés.		DANS les galeries.		DANS les tailles.		AU JOUR.		TOTAL.	
		en tout.	p. 1000.	en tout.	p. 1000.	en tout.	p. 1000.	en tout.	p. 1000.	en tout.	p. 1000.	en tout.	p. 1000.
A. — Accidents suivis de mort.													
Mines de houille.	35.274	17	0,48	12	0,34	41	1,16	30	0,85	12	0,34	112	3,17
— de lignite.	26.625	14	0,53	3	0,11	7	0,26	24	0,90	10	0,37	58	2,17
— de fer.	7.629	1	0,13	»	»	»	»	1	0,13	1	0,13	3	0,39
Mines métalliques et diverses.	14.053	8	0,57	»	»	2	0,14	4	0,28	5	0,36	19	1,35
Total.	83.581	40	0,48	15	0,18	50	0,60	59	0,70	28	0,33	192	2,29
En 1874.	87.396	59	0,67	6	0,07	40	0,46	43	0,49	22	0,25	170	1,94
B. — Accidents graves.													
Mines de houille.	35.274	3	0,08	10	0,28	23	0,65	39	1,11	4	0,11	79	2,23
— de lignite.	26.625	5	0,19	2	0,07	17	0,64	16	0,60	12	0,45	52	1,95
— de fer.	7.629	»	»	»	»	4	0,52	6	0,79	3	0,39	13	1,70
Mines métalliques et diverses.	14.053	10	0,71	1	0,07	6	0,43	6	0,43	8	0,57	31	2,21
Total.	83.581	18	0,21	13	0,15	50	0,60	67	0,81	27	0,32	175	2,09
En 1874.	87.396	15	0,17	14	0,16	54	0,62	58	0,66	22	0,25	163	1,86

Les causes des accidents, et l'importance relative de chacune de ces causes, ressortent des chiffres suivants :

	NOMBRE D'HOMMES tués ou blessés.	PROPORTION P. 100 des accidents.
Rupture subite du toit, etc.	135	36,8
Explosions de poudre ou de dynamite.	30	8,2
Havage.	13	3,5
Grisou.	41	11,2
Gaz irrespirables.	5	1,4
Chutes de pierres venant du jour.	9	2,4
Extraction.	47	12,8
Chutes dans les puits.	24	6,5
Machines.	17	4,5
Echelles.	16	4,4
Causes diverses.	30	8,2
Totaux.	367	100,0

Enfin, un homme tué correspond à une extraction de :

	POIDS EXTRAIT. tonnes.	VALEUR. francs.
Mines de houille.	40.622	441.915
Mines de lignite.	118.125	664.847
Mines de fer.	234.995	2.278.075
Mines métalliques et diverses.	13.175	802.577
En moyenne.	64.355	557.890

Nous terminons par quelques renseignements sur la situation des caisses de secours mutuels à la fin de l'année 1875.

	1874.	1875.
Nombre de caisses de secours.	363	355
Nombre de sociétaires.	107.783	103.663
— pensionnaires.	20.140	21.461
Capital des caisses, en francs, aux cours du 31 décembre 1875.	16.741.602	17.121.810

Les recettes de l'année se sont élevées à 5.267.882 francs dont 2.667.412 ont été versés par les sociétaires (en moyenne 25',72 par tête), et 600.470 par les propriétaires des établissements. A ces ressources, provenant de souscriptions, viennent s'ajouter les produits des fonds capitalisés.

Les secours distribués se sont élevés à la somme de 5.308.677 fr., savoir :

Secours permanents.	1.755.670 francs.
Secours temporaires.	1.553.007 —

(Extrait par MM. H. Kuss, ingénieur des mines, du « Statistisches Jahrbuch des K. K. Ackerbau-Ministerium's für 1875 : der Bergwerksbetrieb Oesterreichs im Jahre 1875.)

EXPLORATION GÉOLOGIQUE DU CANADA (1874-75).

Le rapport sommaire de M. Alfred SELWYNN, en exposant les conditions du relevé géologique, admet que la surface des possessions britanniques de l'Atlantique au Pacifique est vingt fois celle du Royaume-Uni, soit 2.420.000 milles carrés et porte la distance totale parcourue par les dix explorateurs à 60.000 milles.

Il mentionne l'usage de l'odomètre dans les reconnaissances topographiques.

— Les rapports de M. Robert BELL sur la région située à l'ouest des lacs Manitoba et Winnipeg, de M. J. W. SPENCER sur la région comprise entre la rivière Assiniboine et ces mêmes lacs, et de M. James RICHARDSON sur la Colombie britannique, continuent à faire connaître la géologie et la géographie physique des régions nord-ouest de l'Amérique.

On peut y noter entre autres observations d'intérêt général que le blé ne peut mûrir au fort Pelly dans la vallée de l'Assiniboine et que, d'après divers faits, tels que l'assèchement des chaussées de castors, l'eau paraît avoir diminué dans les régions du nord-ouest.

Les conditions orographiques de ces régions sont accusées par les altitudes des lacs, déterminées dans l'exploration pour le chemin de fer Canadien au Pacifique, savoir :

Lac Winnipeg, 710 pieds = 216^m,4; — lac Saint-Martin, 757 pieds = 224^m,6; — lac Manitoba, 752 pieds = 229^m,20; — lacs Winnipegosis et des Cèdres, 770 pieds = 234^m,7; — lac des Bois, 1.044 pieds = 317^m,6.

— Le rapport de M. R. W. ELLS sur les dépôts de fer du comté de Carleton (Nouveau-Brunswick) est accompagné d'une carte où sont figurés les affleurements.

Dans le voisinage de Jacksonville au Nord de Woodstock, le minéral hématite compacte est en veines de 1 à 16 pieds d'épaisseur, dans les schistes ardoisiers verts et rouges, souvent pyritifères, noircissant à l'air.

Les veines, suivant les allures des schistes qui sont très-accidentés, ont des orientations qui varient entre le nord-est et l'est et que le texte signale en degrés pour chaque localité; elles sont verticales ou plongent un peu vers le nord-ouest.

Le minéral est souvent très-manganésé, et contient parfois plus de 2 p. 100 d'acide phosphorique, il est traversé par des veinules de quartz ou de calcite. Un des gîtes a fourni 20.000 tonnes, un autre 50.000.

Dans le prolongement de ces gîtes, sur la rive gauche de la rivière Saint-Jean, les ardoises calcarifères dominent et offrent des zones ferrifères.

Les minerais sont traités au charbon de bois à Upper Woodstock dans des hauts-fourneaux qui produisent 7 tonnes et 5 tonnes 1/2 par jour. Le charbon se fait avec l'ébène, le bouleau et le hêtre qui rendent 45 boisseaux par corde payée 2 dollars à 2^d,50. La carbonisation a lieu dans dix fours tenant chacun 75 cordes. Le charbon est compté au prix de 7 cents le boisseau.

Le minéral revient à 1^d,20 la tonne. On consomme 5 tonnes de minéral et 126 boisseaux de charbon pour produire une tonne de fonte qui revient à 20 ou 22 dollars.

— Le rapport de M. Henry G. VENNOR, sur les Études géologiques dans les comtés de Fontenac et de Lanark concernant les gîtes de phosphate de chaux et de minéral de fer est accompagné d'une carte géologique du comté de Lanark et d'une partie des comtés de Renfrew et de Leeds de la province d'Ontario.

Les terrains cristallins, recouverts seulement au Sud-Est par la formation sédimentaire de Potsdam (1), présentent successivement du sud-est au nord-ouest les zones suivantes :

- (2) Bandes de calcaire, dolomies avec trémolites et roches amphiboliques.
- (3) Micascistes, schistes amphiboliques, gneiss imparfait et dolomies ferrugineuses.
- (4) Diorites cristallines, roches amphiboliques, calcaires et serpentines, syénites.
- (5) Gneiss pyroxénique, gneiss grenatifère, calcaire cristallin avec serpentine et graphite, veines subordonnées d'apatite avec mica.
- (6) Gneiss et calcaires cristallins avec minéral de fer magnétique.

La zone (2) paraît n'être que la répétition de la zone (4) ramenée par un pli anticlinal renversé.

Les affleurements des zones sont ondulés et les orientations varient du N. au N.-E.

Des coupes insérées dans le texte montrent les allures de la stratification dont les lits sont en général rapprochés de la verticale par des plis serrés.

Dans le township de Burgess nord, les veines d'apatite varient de quelques pouces à 6 pieds et ont été suivies en profondeur

jusqu'à plus de 100 pieds, mais en général elles s'amincissent rapidement.

D'après les descriptions, il semble que ce soient des demi-lentilles qui peuvent être assez considérables puisqu'un seul gîte a pu fournir 800 tonnes en une saison.

L'exportation, qui avait été l'objet de spéculations actives, est maintenant abandonnée à cause de la dissémination des gîtes qui rend très-onéreuses les explorations d'ensemble, mais les particuliers continuent à faire des extractions profitables. (Voir ci-après.)

Dans les comtés de Lanark, de Leeds et de Frontenac, on a reconnu beaucoup de gîtes de minerai de fer magnétique, cristallin, ordinairement associé à l'apatite, ce qui en rend l'utilisation difficile malgré la qualité supérieure du minerai trié. Les cristaux octaédriques ont souvent plus d'un pouce de diamètre et contiennent parfois des cristaux d'apatite.

Une bande calcaire est ordinairement superposée au minerai et de telles bandes peuvent guider dans les recherches, par exemple celle qui a été suivie du gîte du lac de l'Aigle aux mines Foley dans le township de Bathurst.

Ces deux gîtes marquent la zone inférieure des minerais toujours très-cristallins et fortement titanifères (*).

Une seconde zone est marquée par les gîtes du lac d'Argent et du lac Meyer, les minerais encore un peu titanifères y tiennent 64 à 65 p. 100 de fer.

Dans une troisième zone supérieure, marquée par les gîtes de Bygrove et Fournier, le minerai est exempt de titane.

Le fer oxydulé est aussi disséminé dans les lits dioritiques. Dans tous les cas il est signalé par la boussole.

Dans les townships Palmerston et Dalhousie, immédiatement au sud de la ligne de gneiss rouge qui sépare les micaschistes des dolomies (3), une grande partie de la dolomie, excessivement compacte, est d'un blanc pur. Elle contient moins d'un centième de fer et à peine plus d'un centième de matière insoluble.

Dans les townships Sherbrock nord et levant, les dolomies ferrugineuses et les ardoises chloriteuses sous-jacentes qui succèdent aux diorites, sont souvent cuprifères; le cuivre sulfuré a été antérieurement exploité sur quelques points dans des veines de

(*) Les indications relatives au gisement du fer magnétique et de l'apatite sont parfaitement d'accord avec les conditions de gisement des mêmes matières en Norvège, sur la côte d'Arendal, où l'apatite est associée non-seulement au fer oxydulé, mais au rutile.

quartz et de chlorite. Les analyses ont fait reconnaître des traces d'or.

— Une note de M. B. HARRINGTON indique les conditions de la fabrication de l'acide sulfurique et du superphosphate de chaux à Brockville, province d'Ontario.

L'acide sulfurique est produit avec la pyrite de la localité qui rend 40 p. 100 de soufre et du nitrate de soude importé par Boston.

Le superphosphate est fabriqué depuis 1869 avec l'apatite tirée du township de Burgess nord, qui tient environ 80 p. 100 de phosphate et que l'on traite, après qu'elle a été pulvérisée, par son poids d'acide sulfurique. Le magma spongieux résultant, qui contient, d'après les fabricants, 20 p. 100 d'acide phosphorique soluble, est ensuite broyé et vendu en barils, 30 dollars (*) la tonne.

— Le rapport de M. Charles ROBB sur la continuation des Études géologiques faites dans l'île du cap Breton (Nouvelle-Écosse), concernant les formations carbonifères, est accompagné de deux cartes géologiques du terrain houiller de Sydney et du cap Dauphin exécutées avec tracé des affleurements et des failles, par MM. Charles ROBB et Hugh FLECHTER.

Il contient des relevés descriptifs des séries de couches aussi détaillées que possible pour les trois étages de calcaire carbonifère du grès meulier (*millstone grit*), et des assises houillères (*coal measures*) qui occupent un rectangle de 32 milles de long sur 13 de large, orienté E. 22° S., soit 112° à partir du nord, et sont accidentées transversalement par trois plis anticlinaux et quatre plis synclinaux, à peu près parallèles entre eux, déterminant les bassins dits de la Baie des Vaches, de la Baie des Glaces, du Havre de Sydney et du Bras d'Or.

La puissance maximum du premier étage est portée à 4.591 pieds = 1.399 mètres. Le calcaire diversement coloré y alterne avec des grès, des schistes et des marnes rouges contenant des lits de gypse et des dépôts d'hématite.

La puissance du grès meulier atteint 5.706 pieds = 1.557 mètres; cet étage, formé de schiste avec grès de teintes généralement grises, contient un certain nombre de lits de combustible avec empreintes. On y signale des stigmariées et des cordaïtées; quelques couches qui atteignent et dépassent même 3 pieds seraient exploitables. L'une de ces couches, s'étendant probablement sous l'étage

(*) Le dollar = 100 cents vaut 54,31.

houiller proprement dit de Lingan, promettrait dans cette étendue 72.900.000 tonnes de houille. Les combustibles de cet étage tiennent 62 à 66 p. 100 de carbone fixe et 52 à 30 p. 100 de produits volatils.

L'étage houiller proprement dit, caractérisé par les couches actuellement exploitées, commence par un dépôt de blocs angulaires de grès meulier remaniés et se distingue de l'étage inférieur par ses couleurs variées, car il comprend : 1° et 2° des schistes argileux et arénacés plus ou moins charbonneux, remplis d'empreintes et contenant souvent des nodules de minerais de fer; 3° des marnes ou mieux des argiles feuilletées rouges et vertes, dont la couleur dominante varie du rouge violacé au brun chocolat, et accidentellement des argiles blanches; 4° des grès plus ou moins caillouteux jaunâtres et verdâtres avec empreintes végétales; 5° les argiles réfractaires dites *underclay* qui manquent rarement au-dessous des couches de houille; 6° des calcaires bitumineux en lits minces chargés de débris organiques; 7° des schistes plus ou moins bitumineux; enfin 8° la houille. Ces divers genres de dépôts se répètent en alternances dans tout l'étage, sauf les lits calcaires qui ne se trouvent que dans le bas. La succession des couches est donnée pour les différents districts par de nombreux relevés descriptifs.

D'après l'ensemble des rapports de cette année et des années précédentes, le nombre des couches de houille des assises productives est de vingt-quatre dont six ont plus de 3 pieds d'épaisseur, et la moyenne de l'épaisseur totale de la houille peut être portée à 48 pieds (près de 15 mètres).

Un tableau récapitule les principales couches de houille exploitables des différents districts à partir de l'est, en indiquant les puissances et les espacements.

A la Baie des Vaches, sur la côte sud comme sur la côte nord, on compte 6 couches principales dont la supérieure, qui est la plus puissante, a 9 pieds (2^m,75). Ces couches offrent une puissance totale de combustible exploitable d'environ 25 pieds (7^m,65), et occupent la base du terrain sur une épaisseur de 1.146 pieds (349 mètr.). A la Baie des Glaces, la puissance totale de la houille exploitable est d'environ 40 pieds (12^m,19) en 7 couches. Dans le district de Lingan, les couches principales qui arrivent au nombre maximum de 9 et dont la plus puissante a 12 pieds (3^m,65), offrent une puissance totale de 47 pieds (14^m,31). Elles occupent une épaisseur de terrain de 1.650 pieds (503 mètr.). Aux mines de Sydney, la puissance totale de la houille exploitable retombe à

30 pieds (9^m,15) en 8 couches. Au cap Dauphin, on ne compte plus que 4 couches exploitables, formant une puissance totale de 13 pieds (3^m,96) et occupant la base du terrain sur une épaisseur de 350 pieds (107 mètr.).

Enfin un tableau graphique de sections verticales comprenant l'étage du grès meulier montre le rapport de position des couches au-dessus et au-dessous d'un horizon donné par la principale couche des mines de Sydney et par les couches des autres districts qui paraissent lui correspondre.

Indépendamment des plis signalés plus haut, les trois étages sont coupés par des failles qui traversent l'ensemble du terrain carbonifère; une d'elles, qui passe à Sydney même, abaisse le grès meulier au niveau du calcaire carbonifère; une autre limite dans le district du cap Dauphin l'ensemble des trois étages encaissé au Nord par les terrains cristallins.

Il faut sans doute rattacher au jeu local des fissures le détail les interruptions que présentent certaines couches de houille, où le toit pénètre en forme de coin. Dans ces accidents décrits par M. JOHN BUTHERFORD, ingénieur de l'association générale des mines, on observe que la pierre qui a ainsi pénétré se désagrège promptement dès qu'elle est mise à nu.

— Un rapport de M. Lionel SMITH, accompagné de tableaux statistiques, est relatif à la fabrication et au commerce du sel.

Le terrain salifère de la province d'Ontario paraît se prolonger au sud sous les formations cornifère et hamiltonienne.

Les tableaux statistiques mentionnent 19 sauneries dans les localités de Seaforth, Stapleton, Clinton, Goderich, Kincardine, etc.

Les plus nombreuses sont à Goderich, et c'est de cette localité et particulièrement du nouvel établissement appelé *saunerie internationale* que proviennent les renseignements circonstanciés.

L'exploitation a lieu par des puits forés, mais on pense à l'exploitation par mine. Le puits le plus profond à Seaforth a 1.335 pieds (407 mètr.). Les autres sont arrêtés pour la plupart entre 1.100 et 1.200 pieds (335 et 365 mètr.). Les premiers forages ont été terminés en 1866. Le dernier, celui de l'internationale, arrêté à 1.170 pieds et demi (357 mètr.) en mai 1874, a traversé 100 pieds (30^m,4) d'argile avec quelques cailloux, 40 pieds (12^m,16) de gravier, 510 pieds (155^m,5) de grès et de calcaire alternants, 300 pieds (91^m,50) de calcaire cornifère, 84 pieds (25^m,60) de schistes bariolés, 20 pieds (6 mètr.) de gypse et de dolomie brune; il a alors atteint un premier banc de sel de 19 pieds (5^m,79), puis, après 30 pieds (9^m,10) de dolomie brune, un second banc de 24 pieds

(7^m,30), et, après 3 pieds et demi (1^m,06) de schiste bleu, un troisième banc de 32 pieds (9^m,75). Les dolomies traversées ensuite sur 8 pieds paraissaient annoncer un quatrième banc.

A Kincardine, le deuxième et le troisième banc sont réunis, mais au nord de Kincardine les forages n'ont plus rien donné ; au sud-ouest le forage de Tilsonburg approfondi à 1.450 pieds (442 mètr.), a donné l'eau salée, mais sans traverser un banc de sel.

L'eau salée des puits marque à l'aréomètre de 75 à 100°.

L'évaporation est faite en général sur des tables en fer de 40 à 100 pieds (*) de long, sur 20 à 24 de large, à l'exclusion des chaudrons de 140 gallons abandonnés comme désavantageux pour les fortes salures. Ces tables coûtent de 5 à 6.000 dollars et durent cinq ans. On emploie aussi des tables en cuivre de 40 pieds sur 10, et enfin des caisses en bois de 80 à 100 pieds sur 22 pieds et profondes de 1 pied, traversées par des conduites de vapeur.

Les eaux concentrées laissent déposer le sulfate de chaux à une température de 110 à 120° (40 à 50° centigrades). Elles doivent être chauffées à 160° (71°,1), pour la cristallisation du gros sel et à 200 ou 212° (près de 100° c.) pour le sel fin.

Les eaux salées de la province d'Ontario contiennent peu de chlorures de magnésium et de calcium. Celles de Goderich sont les plus pures en même temps que les plus salées. Le climat permettrait sans doute de fabriquer avec elles le sel dit *solaire* qui est recherché pour les salaisons.

La comparaison des combustibles employés donne les résultats suivants : une tonne d'antracite équivaut à une corde trois quarts de bois dur et à deux cordes et quart de bois tendre.

Une tonne de houille bitumineuse de Cleveland équivaut à une corde et demie de bois dur et à deux cordes de bois tendre.

La houille de Cleveland est livrée à Goderich à 4 dollars ou 4^s,25 la tonne.

L'avantage économique est maintenant de 5 p. 100 en faveur de la houille.

La quantité de sel obtenue avec une corde de bois dur, qui était antérieurement de 35 boisseaux ou 7 barils (**), pourrait être portée, d'après divers sauniers, jusqu'à 15 barils.

(*) 1 pied = 0^m,3047.

(**) 50 livres de sel = 1 boisseau, 5 boisseaux = 1 baril. 8 barils = 1 tonne anglaise ; le tonneau du Canada est seulement de 7,14 barils.

On estime qu'en moyenne une livre de houille est nécessaire pour deux livres et demie de sel.

Il est question d'employer le pétrole et même les résidus des raffineries d'huile dont une livre évaporerait 27 litres d'eau.

On commence à combiner les sauneries avec les moulins à vapeur dont on utilise la chaleur perdue.

En 1873, la production totale a été de 438.076 barils de sel fin et de 13.500 barils de sel de cuisine, soit en somme 451.576 barils, représentant une valeur totale de 456.218 dollars, soit un peu moins de 1 dollar le baril en moyenne.

La consommation du bois a été de 50.635 cordes de bois valant 43.096 dollars, le bois dur valant 3 dollars et le bois tendre 2^s,25. La valeur de la tonnellerie a été de 25.200 dollars.

Le capital engagé dans l'ensemble de l'industrie est de 624.000 dol.

Le total des salaires en 1874, montait à 89.524 dollars.

En 1875, une moitié du sel produit a été consommée au Canada, l'autre moitié a été vendue aux États-Unis, où l'importation progresse, quoique le sel canadien paye un droit d'entrée de 34 cents par baril.

Le Canada reçoit de plus de Liverpool une quantité de sel qui paraît avoir eu son maximum en 1870, où elle s'est élevée à 81.160 tonneaux, et qui devait être en 1874 de 50.000 tonnes environ.

Aux États-Unis, la production du sel a doublé de 1850 à 1870, où elle atteint 17.605.105 boisseaux valant 4.818,229 dollars.

(Extrait par M. B. DE CHANCOURTOIS, ingénieur en chef des mines, du Rapport présenté par M. Alfred R. C. SELWYNN, directeur de l'Exploration géologique (*Geological Survey*) du Canada, sur les opérations de 1874-1875.)

GÉOLOGIE ET INDUSTRIE MINIÈRE DES ILES PHILIPPINES.

Les îles Philippines, un des plus riches archipels de la Malaisie, comprennent plus de 1.400 îles, dont la plus importante est Luçon (capitale Manille), située au nord; les autres sont alignées suivant les deux directions S.-O et S.-E., à partir de la pointe sud de Luçon. Sur la direction S.-E. se trouvent les îles les plus remarquables au point de vue minéralogique : Samar, Panay, Cebu, Negros, Leite, et tout au sud, Mindanao, la plus grande après Luçon, mais aussi l'une des plus mal connues, à cause de ses forêts impénétrables, et surtout de l'attitude hostile des races sauvages qui l'habitent.

Géologie.

Orographie. — L'île Luçon présente le principal relief orographique : d'un noyau central Los Caravillos, partent trois chaînes de montagnes, dirigées au nord, au N.-N.-E. et au sud. Dans l'île Mindanao, on distingue deux chaînes, orientées, l'une N.-S. près de la côte orientale, l'autre E.-O. sur la côte nord. Le contre-fort le plus important de cette dernière chaîne vers le sud est celui du mont Apo qui limite la vallée du Rio Grande, susceptible de riches cultures (tabac, cannes à sucre, etc). L'île Panay offre la même disposition générale de montagnes que Luçon. A Samar, l'orographie est confuse; mais dans les autres îles elle se réduit d'ordinaire à une seule chaîne longitudinale, avec ramifications des deux côtés, ou bien à un pic central comme dans les îles les plus petites.

Volcans. — S'il est vrai que toutes ces îles sont les derniers témoins d'un vaste continent partiellement submergé, l'action volcanique a du moins notablement modifié le relief de l'archipel, et, de nos jours encore, elle se manifeste par des tremblements de terre et par des éruptions. Les nombreux volcans de l'archipel constituent deux systèmes distincts, orientés suivant deux lignes sensiblement parallèles, de N.-N.-O à S.-S.-E. Le premier comprend, du nord au sud, les pics volcaniques Buguias et Arayat (île Luçon), et les volcans en activité Taal (île Luçon), Caulaon (île Negros), de l'île Fuego, et Macaturin (île Mindanao), dont l'éruption de 1872 détruisit une partie de Cottabato, capitale de cette île. Le plus important de ce système est le Taal (400 mètres); à l'intérieur du grand cratère s'élève un cratère plus petit de 80 mètres

de hauteur, au fond duquel oscille verticalement une colonne d'un liquide jaunâtre en ébullition. Au fond du grand cratère, et à l'est du petit, on voit un étang de 60 mètres de diamètre qui dégage des vapeurs sulfureuses, et dont l'eau a la composition suivante :

Acide sulfurique.	2,98	dont 2,47 libre.
Acide chlorhydrique.	3,16	
Oxyde de fer.	1,00	
Argile.	1,04	
Magnésie.	0,20	
Chaux.	0,08	
Soude.	1,02	
Eau.	90,52	
Total.	100,00	

Le second système, à l'est du premier, comprend, du nord au sud, le volcan éteint Isaro, et les volcans en activité Albay ou Tayon et Bulusan (île de Luçon), et les volcans Apo et Butulan (île de Mindanao). De tous les volcans de l'archipel, le Tayon est le plus remarquable par ses formes géométriques et par ses grandes dimensions (2.500 mètres de haut et 25 kilomètres environ à la base); ses dernières éruptions ont eu lieu en 1766 et en 1814. Sur cette seconde ligne a apparu récemment (30 avril 1871) le volcan de Camiguin. Annoncée par des tremblements de terre depuis le 16 février, l'éruption commença par un petit cône de 2 mètres de haut, versant un courant de lave vers la mer, et se développant avec une telle rapidité, que, de nos jours, il mesure déjà 500 mètres de haut et près d'un kilomètre à la base.

Ces deux zones volcaniques se rapprochent vers le sud, et paraissent converger dans le groupe des îles Moluques, où se sont produites, en 1870, de notables éruptions. Leur direction moyenne passe par l'île Languir, éminemment volcanique, et se prolonge au nord jusqu'à Formose.

Sources thermales. — De nombreuses sources minérales se rencontrent dans les deux systèmes. La zone orientale comprend notamment les sources chaudes, sulfureuses ou salées du nord de Luçon, et les abondantes sources, les unes tenant surtout des sels de chaux, de soude et de magnésie, les autres ferrugineuses, qui jaillissent près du lac de Bay, au sud de Manille, dans une situation assez avantageuse et assez pittoresque pour justifier dans l'avenir l'établissement de quelques stations thermales. Citons aussi, sur le même alignement, les sources minérales des environs de Cottabato et les dégagements de gaz inflammables de l'île Panay.

Dans la zone occidentale, se trouvent les sources, les unes sulfu-

reuses, les autres siliceuses et très-chaudes (108°) de la province d'Albay, au sud de Luçon, et aussi le gisement de soufre de l'île de Leite.

Renseignements géologiques. — Dans la partie septentrionale de Luçon, le fleuve Abra a creusé son lit au contact du terrain plutonique, à l'est, et du terrain sédimentaire, à l'ouest; ce dernier est couronné par des couches calcaires où abondent les nummulites.

Dans la région centrale de cette île, du golfe de Lingayen à la baie de Manille, s'étend, entre deux chaînes de montagnes, une vaste plaine fertile, peu élevée au-dessus du niveau de la mer, et dominée par le cône isolé du mont Arayat (1.000 mètres). On y trouve, surtout au nord, des couches calcaires contenant en abondance des restes d'êtres vivant au sein des mers actuelles, tels que : *Berenices*, *Trochus*, *Gryphæa*, *Caryophyllea*, *Meandrina*, *Astræa*, *Oculina*, etc., ainsi que des tufs volcaniques, contenant des *Pholas*; on peut en conclure qu'il existait jadis dans toute cette région un bras de mer, comblé à l'époque quaternaire par les alluvions des fleuves tributaires, et par les éruptions du mont Arayat.

Dans la région méridionale de Luçon, on a découvert des affleurements de charbon à Batan (1842), à Caramoan (1847), et près de Sugud, à Gatbo (1873). Ces trois points se trouvent alignés suivant une même direction, de N.-N.-O à S.-S.-E., qui coïncide avec l'orientation générale des couches et avec celle des deux systèmes volcaniques : la zone ainsi déterminée se prolonge au sud, passant par les affleurements de Gubat, à 20 kilomètres au midi de Sugud, et aboutit à ceux qu'on a découverts en 1843, aux environs de Catbalongan, capitale de Samar, sur la côte occidentale de cette île. C'est la plus belle ligne d'affleurements de charbon dans l'archipel, la distance des deux points extrêmes étant de 150 kilomètres environ. Ces affleurements sont constitués par une première couche de charbon, dont l'épaisseur, à Gatbo, varie de 3 à 7 mètres, comprise entre deux couches d'argiles bleuâtres, le tout situé entre deux bancs de poudingue, où l'on remarque des cailloux d'origine plutonique. Vers l'ouest, on trouve encore une seconde couche de charbon, dont l'épaisseur varie de 0^m,50 à 0^m,80. Le plongement est de 70° vers E. 20° N. Le charbon de la couche puissante est bon pour les machines à vapeur; à Batan, il est plus sec, plus léger, et les couches en ce point sont dérangées. Les caractères minéralogiques des terrains et quelques troncs cylindriques de fossiles végétaux trouvés à Gatbo semblent rattacher cette formation à la période houillère; mais ce n'est encore qu'une hypothèse.

En seconde ligne vient la zone carbonifère des îles Cebu et Negros. L'île Cebu est entourée d'une ceinture madréporique de calcaires excellents pour les constructions, qui ont sans doute émergé au moment de l'apparition des diorites qu'on voit près de la côte. Sur les bords oriental et occidental de cette île, s'étendent des terres végétales très-argileuses, très-fertiles, et des alluvions marines renfermant des coquilles d'animaux vivant aujourd'hui dans ces mers. On n'y a pas encore constaté la présence des terrains tertiaire et secondaire. La première formation importante qu'on observe dans l'intérieur de l'île, en allant de l'est à l'ouest, est constituée par des bancs d'un calcaire bleuâtre, parallèle à la côte, et plongeant à l'O.-N.-O. Au-dessus, repose en stratification concordante la formation carbonifère. Le travers-banc d'Uling, long de 500 à 600 mètres, a mis en évidence une première couche de charbon, dont la puissance est en moyenne de 1 mètre et atteint 5 mètres en certains points, puis une série de couches alternées de grès et d'argiles, sur une étendue de 2 kilomètres, et, en dernier lieu, 4 couches de charbon, très-rapprochées les unes des autres, et dont chacune a une épaisseur moyenne de 0^m,60. La première couche a une allure assez irrégulière; les autres, au contraire, ont une allure normale, sur une longueur de 50 kilomètres en partant de Danao, au nord de l'île. On les a retrouvées, vers la pointe sud, à Bolohon, à une distance de 125 kilomètres de Danao. Le charbon de la première couche est gras et fournit un coke d'excellente qualité; celui des couches suivantes est sec, à longue flamme, excellent pour les chaudières. Dans une même couche, le charbon est tantôt pur, tantôt pyriteux. Ce ne sont assurément pas des lignites, et bien qu'on n'ait pas trouvé d'autres fossiles que ceux déjà cités pour l'île Luçon, on est fondé à croire que c'est la formation houillère.

Sur la côte orientale de l'île Negros, on a découvert des affleurements nombreux qui paraissent appartenir à 3 ou 4 couches distinctes, dont la direction est aussi de N.-N.-O. à S.-S.-E., et dont le plongement est en moyenne de 50° vers l'est. Ces couches semblent correspondre à celles de l'île Cebu, qui se prolongeraient ainsi sous le détroit de Tañon.

Industrie minière.

1° *Charbon.* — Les premiers gisements de combustible exploités furent ceux de l'île Cebu, où l'on découvrit en 1827 les premiers affleurements. Les exploitations de Guila-Guila (1853), vers la

pointe sud de l'île, et d'Uling et d'Alpaco, dans la région centrale, ont cessé aujourd'hui, faute de capitaux, bien que le charbon de Guila-Guila eût été trouvé comparable à la houille de Newcastle. Ce fait doit être attribué à la mauvaise conduite des travaux; car, tandis qu'à Uling et Alpaco on dépensait 1.500.000 francs pour la construction d'un port, de routes, et pour l'achat du matériel, on n'exécutait pas de travaux préparatoires sur le gîte.

Les bons gisements découverts en 1873, à Compostela et à Danao, au nord de l'île Cebu, ne donnent encore aujourd'hui qu'une production insignifiante.

Dans l'île Luçon, on a attaqué récemment les gîtes de Batan et de Sugud. Cette dernière exploitation est celle qui donne aujourd'hui les meilleures espérances. Elle est entre les mains de la Société « *la Paz* », fondée en 1875 à Manille. On a reconnu sur une longueur de 2.000 mètres une couche dont l'épaisseur varie de 4 à 8 mètres, et dont le charbon est analogue à celui d'Australie, quoique moins bitumineux. Les travaux préparatoires consistent en des puits de plus de 30 mètres de profondeur creusés au mur et au toit, et en des travers-bancs à différentes hauteurs. La couche est moins puissante, mais plus pure en profondeur. On a construit un tramway depuis les mines jusqu'à la plage; on a commencé un môle à Sugud, et l'on achève les bâtiments nécessaires aux installations.

Les gisements de l'île Negros, bien que situés dans des conditions plus avantageuses que ceux de l'île Cebu, plus élevés et plus voisins de la mer, ne sont pas encore exploités. Citons enfin les affleurements, encore vierges, de l'île Semerara au sud de Mindoro, couverts à haute mer, et ceux du N.-E. de Mindanao.

Le développement de cette industrie constituera un des plus beaux éléments de prospérité de l'archipel, et facilitera entre les diverses îles les communications par bateaux à vapeur, entravées encore aujourd'hui par la cherté des combustibles étrangers.

La quantité totale de combustible extrait jusqu'à ce jour de tous les points s'évalue à 21.000 tonnes, à savoir :

Ile Cebu.	} Guila-Guila.	} 17.000 tonnes.	
			Uling.
			Alpaco.
			Compostela.
Ile Luçon (Albay).	} Batan.	} 3.000	
			Sugud.
Autres points.	}	} 200	
		
Total.		21.000 tonnes.	

3° *Fer*. — Les minerais de fer se trouvent en très-grande abondance dans la plupart des îles, mais surtout dans l'île Luçon. Ce sont des minerais oxydulés magnétiques très-purs, tenant jusqu'à 75 et 80 p. 100 de fer, très-fusibles, et pouvant donner un fer comparable aux meilleures qualités de Suède. La présence de bois touffus et de nombreuses chutes d'eau au voisinage des mines favorise l'établissement d'usines métallurgiques; et cependant, malgré la protection de l'État, malgré la suppression du droit de 10 p. 100 perçu jadis sur les minerais de fer exploités, la métallurgie du fer est moins développée aujourd'hui qu'à la fin du siècle dernier, sans doute à cause des relations plus faciles avec l'Europe, où cette industrie a fait de si grands progrès. Les plus beaux gisements se trouvent dans la province de Bulacan, au centre de Luçon. Dans le premier tiers de ce siècle, on tenta de fonder une grande usine avec forge, près du rio Bulaon, où l'on voit des affleurements de 4 mètres de puissance. Mais, faute de routes, les machines arrivées d'Europe ne purent être transportées sur place; depuis lors, la panique s'est mise dans cette industrie, qui ne compte plus que quelques usines très-secondaires dans la province de Bulacan.

5° *Cuivre*. — D'importants gisements de cuivre se trouvent près de Mancayan, district de Lépante, au nord de Luçon. Les principaux minerais sont le cuivre gris arsenical (tennantite), le cuivre gris antimonial (panabase), le cuivre vitreux (chalkosine), la phillipsite, la pyrite cuivreuse. Ces minerais se présentent en petits filons, dont la direction générale est de O.-N.-O. à E.-S.-E., dans une masse quartzuse de 100 mètres de puissance, recouverte le plus souvent par un porphyre argileux. Voici la composition moyenne des minerais recueillis en divers points du même filon, à Mancayan :

Cuivre.	16,64
Silice.	47,06
Soufre.	24,44
Antimoine.	5,12
Arsenic.	4,65
Fer.	1,84
Perte.	0,25
	<hr/>
	100,00

Au voisinage des filons, se trouvent de petits dépôts de cuivre vitreux, dont la richesse s'élève à 65 p. 100.

Ces gîtes ont été de longue date exploités par les indigènes qui, jusque dans ces derniers temps, en défendirent l'approche aux

Espagnols. Ces sauvages, dépourvus de fer et d'acier, exploitent les minerais au moyen du feu, et les traitent ensuite dans un petit four de 0^m,50 de diamètre et de 0^m,15 de profondeur, creusé dans le sol, muni d'une tuyère réfractaire et d'un soufflet primitif fait avec un tronc de pin adroitement perforé. Après cinq opérations successives de fusion et grillage, ils obtiennent un cuivre noir à 92 ou 94 p. 100, qu'ils affinent quelquefois. Ces diverses opérations et le mode d'exploitation lui-même dénotent un art singulier, importé sans doute autrefois par les Chinois et les Japonais.

La compagnie Cantabre-Philippine, fondée en 1862, a installé à Mancayan une exploitation régulière, une préparation mécanique et une usine importante. Mais depuis 1870, bien que le gîte se poursuive avec la même régularité, cette entreprise subit une crise financière. Voici sa production depuis 1864 :

		kilogr.
1864.	Cuivre noir,	7.856,50
1865.	—	18.940,50
1866.	—	54.945,75
1867.	Cuivre fin.	113.354,75
1868.	—	152.544,50
1869.	—	152.720,50
1870.	—	184.920,00
1871.	—	184.700,00
1872.	—	75.118,50
1873.	—	99.314,00
1874.	—	74.243,00

Au sud de Luçon, on a concédé d'autres gisements de cuivre, non encore exploités ; et dans l'île Masbate, la « *Union mineral* » a exploité un gisement de cuivre natif aujourd'hui épuisé.

4° Or. — Ce métal est très-répanu dans l'archipel. Les deux principaux districts sont ceux de Camarines Norte, dans l'île Luçon, et de Surigao et Misamis, dans la partie N.-O. de Mindanao.

Dans Camarines Norte, l'or se présente dans des filons de quartz ou d'argile, avec des sulfures divers et des cristaux de plomb chromaté, traversant des schistes micacés ou talqueux. La direction générale est N.-S. L'épaisseur des filons vraiment aurifères varie de 0^m,02 à 0^m,12. Les placers s'étendent depuis les montagnes jusqu'à la côte. L'exploitation est très-ancienne ; car, dès 1645, on percevait un impôt sur l'or produit. La liberté absolue de ce genre de travaux attira de nombreux exploitants, dont quelques-uns se sont fort enrichis. Cependant deux compagnies, fondées en 1850, avaient abandonné leurs travaux en 1859, e a

jourd'hui les indigènes se contentent de laver des sables, produisant environ 840 grammes d'or par mois.

Dans l'île Mindanao, le district de Misamis fournit environ 52.500 grammes d'or par an, provenant surtout d'alluvions, où l'on a trouvé des pépites pesant jusqu'à 105 grammes, et aussi de petits filons de quartz dont le rendement annuel a atteint 21.000 gr. Ces gîtes se prolongent vers l'est par ceux de Surigao, qui sont les plus importants. Dans les schistes talqueux et la serpentine, se présentent des filons calcaires ou quartzeux, de 0^m,01 à 0^m,07 de puissance, diversement orientés. L'or se trouve surtout dans les filons calcaires, et notamment dans ceux qui sont dirigés E.-O. Les gîtes n'ont pas été reconnus en profondeur. Mais à la surface on a trouvé jusqu'à 2.800 grammes d'or sur une longueur de 0^m,60, dans les filons de Canimon, à côté d'autres zones tout à fait stériles. De nombreux lavages de sables aurifères ont été aussi installés près de la côte et des centres de population ; mais la production de ce district est inconnue.

Autres métaux. — On a enfin trouvé, en divers points de Mindanao et de Luçon, des indices de mercure ; dans l'île Cebu, on a exploité deux filons de plomb, dont le minerai essayé à Manille tenait 47 p. 100 de plomb, et en outre 620 gr. d'or et 1.240 gr. d'argent à la tonne. Ces filons, qui avaient 0^m,70 d'épaisseur à la surface, ont été perdus à quelques mètres de profondeur. L'inspection des mines a reconnu, dans la province de Camarines Norte, des filons de 0^m,03 à 0^m,10 de puissance, remplis de galène tenant jusqu'à 5.100 grammes d'or et d'argent à la tonne. Ces gîtes ne sont pas encore exploités. Enfin le soufre se rencontre en abondance aux environs de presque tous les volcans. A Leite seulement, on l'exploite sur une petite échelle.

(Traduit, par extraits, par M. J. BAILS, ingénieur des mines, d'une brochure espagnole intitulée : Memoria geologico-minera de las islas Filipinas, por el ingeniero inspector general del ramo DON JOSÉ CENTENO Y GARCIA, jefe de primera clase del cuerpo de ingenieros de minas (*). Madrid, 1876.)

(*) M. José Centeno fait seul, avec deux aides facultatifs, le service des mines de tout l'archipel.

L'ENSEIGNEMENT MINÉRALURGIQUE EN ESPAGNE.

L'École des mines de Madrid a célébré, le 18 juillet 1877, le centième anniversaire de sa fondation. A l'occasion de cette solennité, M. Eug. Maffei, professeur à l'École, a publié, sous le titre de *Centenaire de l'École des mines de l'Espagne*, un ouvrage dont nous extrayons les notes suivantes sur l'histoire et sur l'état actuel de l'enseignement de la minéralurgie dans la péninsule.

Le 14 juillet 1777, un décret royal appela l'Allemand Henri Cristobal Storr à la direction des mines d'Almaden, et lui imposa en même temps l'obligation d'enseigner la géométrie souterraine et la minéralogie aux « jeunes mathématiciens du royaume ou de l'Amérique qu'on lui confierait à cet effet ». Telle fut l'origine de l'*Académie des mines* d'Almaden. Pendant longtemps, le plan des études resta mal défini, ainsi que la situation faite aux élèves de l'École. Celle-ci comprenait, en 1801, trois chaires : géométrie souterraine, minéralurgie et art des mines, mathématiques et dessin. Les guerres dont eut à souffrir l'Espagne au commencement de ce siècle arrêtèrent les progrès de l'institution, et faillirent en amener la disparition. Le décret royal du 4 juillet 1825, qui fut pendant longtemps la base de la législation minière espagnole, réorganisa l'École d'Almaden, à laquelle il donna (art. 43) deux professeurs, l'un pour l'enseignement de la géométrie souterraine et de l'art des mines, l'autre pour la docimasia et la minéralurgie. Une *instruction* du 18 décembre 1825 édicta diverses règles relatives à l'École, fixa les connaissances que devaient posséder les candidats à l'admission et créa des places d'élèves pensionnés.

Le corps des ingénieurs des mines ne fut réellement organisé que par l'ordre royal du 21 septembre 1833, qui décida en même temps la création d'une chaire de docimasia à Madrid, Almaden conservant les deux chaires de géométrie souterraine et de minéralurgie. Enfin le décret royal du 23 avril 1835 fonda, à Madrid, l'École des ingénieurs des mines, où devaient s'enseigner la minéralogie, la géologie, la mécanique appliquée, la docimasia, la métallurgie, l'exploitation des mines. L'inauguration de la nouvelle École eut lieu le 7 janvier 1836. A partir de ce moment, l'enseigne-

ment pratique continua à Almaden sans plan déterminé jusqu'au 23 février 1841, date à laquelle un ordre royal la transforma en École des maîtres mineurs (*capataces*). Nous y reviendrons tout à l'heure; suivons d'abord l'École de Madrid.

Un ordre royal du 11 mai 1836 distribua l'enseignement en trois années, suivies de deux années de stage dans les établissements miniers domaniaux, pour les ingénieurs au service de l'État. En 1845, on ajouta à l'enseignement de l'École de Madrid celui de la paléontologie, et, en 1849, celui du droit administratif. Le règlement du corps des ingénieurs des mines, du 31 juillet 1849, décida que les ingénieurs de l'État se recruteraient au concours parmi les élèves de l'École, ou par examen pour ceux qui n'auraient pas suivi les cours de l'École spéciale de Madrid.

Les progrès de l'École furent plusieurs fois compromis par de fréquents changements, jusqu'au décret royal du 21 septembre 1859, qui la développa en répartissant les cours en 5 années.

- 1^{re} ANNÉE. — Géométrie analytique à trois dimensions, calcul infinitésimal, géométrie descriptive élémentaire, langue allemande, dessin.
- 2^e ANNÉE. — Mécanique rationnelle, chimie générale, géométrie descriptive appliquée, langue allemande, dessin.
- 3^e ANNÉE. — Minéralogie, docimasia, mécanique appliquée, construction et établissement de machines, dessin et exercices pratiques.
- 4^e ANNÉE. — Paléontologie, géologie, préparation mécanique, métallurgie générale, construction, dessin, exercices pratiques.
- 5^e ANNÉE. — Exploitation des mines, métallurgie spéciale, topographie et géodésie, droit administratif et législation des mines, dessin, exercices pratiques.

Les élèves étaient divisés en élèves ingénieurs et élèves externes. L'examen d'admission portait sur les matières suivantes : morale, arithmétique, algèbre, géométrie, trigonométrie rectiligne et sphérique, géométrie analytique à deux dimensions, physique expérimentale et notions d'histoire naturelle, dessin linéaire et topographique, langue française.

On voit que cette organisation ressemble fort à celle de l'École des mines de Paris (en y comprenant l'École préparatoire), et sauf les différences résultant de la non-existence, en Espagne, d'une école analogue à notre École polytechnique. La carrière des mines n'attira cependant qu'un nombre restreint de candidats, par suite surtout de la difficulté que les élèves éprouvaient à se placer à leur sortie de l'École; sous ce rapport, un décret royal du 29 juin 1864, qui augmenta le nombre des ingénieurs de l'État, améliora la situation.

Malheureusement, un nouvel ordre royal du 19 août 1866 déclara fermés les corps des ingénieurs des ponts et chaussées, des mines et des forêts: les élèves reçus ultérieurement à l'École n'auraient plus aucun droit à entrer au service public. Le 24 août de la même année, intervint un nouveau décret, destiné à réorganiser et à vivifier la Faculté des sciences de l'Université: les aspirants au titre d'ingénieur devaient suivre pendant deux ans les cours de la Faculté, sans préjudice des études pratiques réservées à l'École spéciale. Les examens d'admission de 1866 et 1867 se firent néanmoins d'après le règlement de 1859.

Le 23 septembre 1868, un décret du gouvernement provisoire, acceptant le principe de la réforme qu'avait en vue l'ordonnance de 1866, enleva à l'École spéciale l'enseignement des mathématiques, de la physique et de la chimie, qui fut abandonné à l'initiative privée. Il supprima, à l'École des mines, les chaires de géométrie analytique à trois dimensions, de calcul infinitésimal, de géométrie descriptive et de perspective, de mécanique rationnelle, de dessin, d'allemand; le même décret annonçait l'intention de confier ultérieurement à l'enseignement libre l'instruction tout entière. Cette dernière partie du programme ne fut heureusement pas mise à exécution. Le règlement de l'École, encore en vigueur aujourd'hui pour presque tous les articles, fut rédigé conformément à ce décret, et approuvé le 24 octobre 1870 par le régent du royaume. Il a seulement été partiellement modifié par un décret royal du 25 mai 1877, relatif aux examens d'admission. Nous allons en indiquer les dispositions essentielles.

Les candidats ont à justifier de connaissances suffisantes sur l'arithmétique, l'algèbre, la géométrie, la trigonométrie, la géométrie analytique, le calcul infinitésimal. Les examens sur chaque matière sont distincts, mais ils doivent tous avoir été subis dans l'espace de trois années au plus, et comprendre chaque fois un nombre minimum de branches à déterminer par le conseil de l'École. De plus, les examens partiels se feront nécessairement dans l'ordre suivant :

Arithmétique, algèbre, géométrie et trigonométrie.

Géométrie analytique et calcul infinitésimal.

Dessin linéaire, topographique, de paysage, d'ornement.

Géométrie descriptive, mécanique, physique.

Chimie.

L'École comprend des élèves externes ou libres, et des élèves ingénieurs: tous doivent subir d'ailleurs le même examen d'admission. Les élèves externes ne sont assujettis à aucune règle: ils

peuvent, s'ils le désirent, suivre les cours, et les exercices de dessin et de laboratoire. S'ils satisfont aux examens de sortie, ils reçoivent le titre d'ingénieurs des mines, à condition de faire, préalablement, une année de stage dans un établissement minier. Les élèves ingénieurs assistent à tous les cours et à tous les exercices, qui durent quatre ans. Ils doivent, pour obtenir le titre d'ingénieurs des mines, faire aussi une année de stage, et n'ont pas, d'ailleurs, un droit absolu à entrer au service de l'État.

Voici maintenant les cours professés et les principaux livres en usage dans l'enseignement actuel de l'École :

STÉRÉOTOMIE. — Leroy, Adhémar, etc.

CHIMIE APPLIQUÉE A L'INDUSTRIE MINÉRALE. — Pelouze et Frémy, Barreswil et Girard, Ure, etc.

EXPLOITATION DES MINES. — Callon, Ponson, Burat, etc.

DRIT ADMINISTRATIF ET ÉCONOMIE MINÉRIÈRE. — Leçons du professeur.

TOPOGRAPHIE ET GÉODÉSIE. — Salneuve, Francœur, Regnault, etc.

MÉTALLURGIE GÉNÉRALE.

PALÉONTOLOGIE. — D'Orbigny, Pictet, etc.

GÉOLOGIE. — Vézian, etc.

CHIMIE ANALYTIQUE. — Peñuelas, Rose, Frésenius, etc.

DOCIMASIE. — Berthier, Rivot, Domeyko, etc.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE A L'EXPLOITATION. — Callon, Haton de la Goupillière.

MINÉRALOGIE. — Dufrénoy, Naranjo, etc.

CONSTRUCTION EN GÉNÉRAL. — Demanet, Collignon, etc.

MÉTALLURGIE SPÉCIALE ET PRÉPARATION MÉCANIQUE. — Monasterio, Ibran, etc.

A l'École des mines est annexé, depuis 1850, un laboratoire d'essais qui rend de grands services à l'industrie minière, pour laquelle il a fait, de 1850 à 1876, 313 analyses complètes, et 14.674 essais.

Les collections minéralogiques comprennent environ 3.700 échantillons représentant 260 espèces; celles de paléontologie comprennent: une collection de 1.400 espèces, classée par familles, avec une annexe de 400 types de coquilles de mollusques vivants; une collection de 3.000 espèces, classée par étages géologiques, et une de 530 espèces, classée de la même manière, des fossiles de l'Espagne.

Les collections de géologie comprennent une collection de 400 échantillons pour l'étude minéralogique des roches, une collection de 1.700 échantillons rangée stratigraphiquement, et une collection de marbres et minéraux de l'Espagne, composée de 2.060 échantillons environ.

Les collections de mécanique, de construction, de métallurgie,

d'exploitation des mines et de préparation mécanique n'ont qu'une importance limitée.

La bibliothèque comprend environ 6.600 volumes.

L'Ecole comptait, en juin 1877, 53 élèves; elle est installée dans une maison particulière, les divers projets présentés pour la construction d'un grand édifice destiné à recevoir l'École et l'Administration des mines n'ayant pas abouti jusqu'ici.

Nous compléterons ces notes, relatives à l'enseignement de l'art des mines en Espagne, par quelques détails sur les *Écoles pratiques de maîtres-mineurs* d'Almaden et de Miérès.

L'École d'Almaden reçut, comme nous l'avons dit, sa forme actuelle de l'ordonnance royale du 23 février 1871. Les matières qui sont l'objet de l'enseignement se répartissent en trois années :

1^{re} ANNÉE. — Éléments d'arithmétique, d'algèbre, de géométrie, connaissance des minéraux et des roches, tirage à la poudre.

2^e ANNÉE. — Notions générales d'exploitation des mines. Travaux pratiques de boisage, et dans les ateliers de charpente, de carrosserie, de construction en fer, dessin linéaire.

3^e ANNÉE. — Maçonnerie. Pompes à main. Étude des mines d'Almaden. Dessin linéaire.

Pour être admis à l'École d'Almaden, les candidats doivent être âgés de 18 ans accomplis, savoir lire, écrire et compter.

L'École a trois professeurs : l'un pour les mathématiques, le second pour la minéralogie appliquée, le troisième pour l'exploitation. De 1841 à 1876, elle a reçu 378 élèves (11 par an, en moyenne); de ces 378 élèves, 148 ont obtenu le titre de maîtres-mineurs (*capataces*).

L'École de Miérès (Asturies), créée par ordonnance royale du 19 septembre 1854, s'ouvrit en avril 1855. Elle fut transférée à Sama de Langréo le 2 avril 1861, puis à Oviédo le 24 avril 1869, et enfin ramenée à Miérès le 23 juillet 1874. On n'y reçoit que des mineurs, âgés de 20 à 36 ans, sachant lire, écrire et compter. Les examens se font au commencement de février, et les cours durent de février à novembre. Les élèves doivent travailler tous les jours dans les mines, et les cours n'ont lieu que les dimanches et jours fériés, ou le samedi, à défaut de jour férié dans la semaine.

Voici, d'ailleurs, les matières enseignées par les deux ingénieurs attachés comme professeurs à l'École :

1^{re} ANNÉE. — Éléments d'arithmétique et de géométrie, usage des outils et des machines; propriétés générales de l'air et de l'eau, connaissance des matériaux de construction.

2^e ANNÉE. — Idée générale du terrain carbonifère normal et des roches qui le constituent; principales variétés de houille et de minerai de fer; travaux de recherche, extraction, épuisement, aérage des mines; tirage à la poudre; fabrication du coke.

L'École a deux professeurs; de 1855 à 1876, elle a reçu 630 élèves (29 par an, en moyenne); de ces 630 élèves, 161 ont obtenu le titre de maîtres-mineurs.

Nous devons citer enfin, pour être complet, divers essais qui n'ont pas abouti, généralement par suite du manque de fonds, dans les principaux districts miniers d'Espagne.

Une École du genre de celle d'Almaden fut créée à Carthagène en 1869 et supprimée en 1874. A Linarès, on essaya vers la même époque une fondation analogue, qui ne vécut que quelques années. Il en fut de même à Huelva et à Almería.

Les Écoles pratiques existantes, et celles à venir, sont placées sous la direction du Conseil de l'École des mines de Madrid; mais, il faut le dire, les efforts de ce Conseil pour améliorer la situation des Écoles provinciales n'ont pu, jusqu'ici, aboutir à un résultat saisissable.

(Extrait par M. H. Kuss, ingénieur des mines, de l'ouvrage : *Centenario de Escuela de minas de España*, par Eug. Maffei.)

MINES D'ÉTAIN DE KO-KIEOU (CHINE).

I. — Le bourg de Ko-Kieou, comprenant une population de 3.000 à 4.000 âmes, est situé à 25 kilomètres environ à l'ouest de la ville de Mong-tse, dans le Yun-nan (*). Tout le pays paraît renfermer de grandes richesses minérales, car on a exploité, paraît-il, l'or, l'argent, le cuivre, le plomb, le fer, l'étain et même le mercure, dans la chaîne de montagnes dirigée N.-O.-S.-E. que traverse le fleuve du Tonkin. Les montagnes qui se trouvent en territoire annamite, dans la province de Tuyên-Quang, ne sont pas, disent les

(*) Voir un mémoire de M. Dupuis, accompagné d'une carte, dans le *Bulletin de la Société de géographie*, juillet 1877, p. 37.

Chinois, moins riches que celles du Yun-nan; mais l'industrie des habitants est loin de répondre à cette variété de ressources naturelles.

On rencontre autour de Ko-Kieou, dans un rayon de 15 kilomètres, plus de cinquante mines destinées à l'extraction de minerais de cuivre et d'étain; l'exploitation de l'étain fait vivre plus de 10.000 personnes et en occupait bien plus autrefois. La première mine a été ouverte la 56^e année de l'empereur Kang-Hi, c'est à dire il y a près de 200 ans. La production d'étain, qui atteignait encore, au commencement du siècle, 5 millions de kilogr., n'était plus, il y a quelques années, que du dixième de cette quantité. Elle est remontée, en 1876, à 1.200.000 ou 1.500.000 kilogr., dont la valeur, sur le marché de Canton, approche de 3 millions de francs. Les propriétaires d'usines espèrent arriver promptement à doubler cette quantité, si la paix dure et surtout si la voie du fleuve Rouge devient plus sûre et moins chère.

Le minerai, qui paraît riche, est extrait de puits verticaux prolongés par des galeries divergentes, quelquefois très-longues. Le manque d'eau aux environs des puits, oblige de l'apporter à dos de mulet à Ko-Kieou, où seulement on peut lui faire subir les lavages et bocardages nécessaires. Une fois qu'il est suffisamment lavé et pilé, on le charge dans un haut-fourneau, par couches stratifiées avec du charbon de bois, qui est le seul combustible employé pour la fonte, malgré son prix élevé (1 taël par 120 kilogr.). Ces fourneaux sont construits d'une manière analogue aux nôtres; leur hauteur ne dépasse pas 3 mètres ou 3^m,50, probablement à cause de l'insuffisance de la soufflerie, qui est constituée par un piston dont la tige est mue à bras. L'opération de la fonte dure 24 heures, pendant lesquelles on consomme environ 120 kilogr. de charbon pour 100 kilogr. de métal obtenu. L'étain, au sortir du creuset, est reçu dans un réservoir d'où on le transporte, au moyen de poches, dans des moules qui forment des barres de 60 kilogr.: une de ces barres forme la charge d'un petit mulet du pays; on les coupe en deux pour faciliter le transport: les moitiés sont placées de chaque côté du bât.

Le métal de première fusion n'est jamais parfaitement pur, et celui qui provient de certains minerais renferme une quantité de métaux étrangers, cuivre, fer ou plomb, qui diminue notablement sa valeur. Cet étain, de deuxième qualité, est le seul qu'il soit d'usage d'échanger contre des marchandises: il forme la presque totalité du métal qui passe par Hanoï. La première qualité, qui se paye toujours en argent, est actuellement envoyée au Su-Tchuen,

malgré les cinquante jours de transport à dos de mulet qui séparent Ko-Kieou du marché de Su-Tcheou. Le prix de cet étain presque pur est de 10 taëls à la mine; il constitue près de la moitié de la production totale et passera certainement par le fleuve Rouge, de l'avis de tout le monde, aussitôt que le commerce sera véritablement ouvert.

L'impôt prélevé par le gouvernement chinois s'élève à environ 10 p. 100; le prix du transport de la mine à Mang-hao, point d'embarquement, est d'environ 1/2 taël. On admet, en conséquence, que le prix de l'étain de première qualité rendu à Mang-hao est de 11 taëls, 50, argent. D'après les dispositions de notre traité de commerce, il ne devrait plus lui rester à payer d'autre impôt qu'un droit de transit de 5 p. 100, et comme le coût du transport en descendant le fleuve est peu considérable, il serait très-avantageux de lui faire suivre cette voie, la valeur de cet étain, à la côte de Chine, étant de 16 ou 17 taëls.

Hanoï, 30 avril 1877.

(Extrait d'un Rapport sur l'exploration du fleuve Rouge, au Tonquin, adressé par M. DE KERGADEDEC, consul de France à Hanoï, au contre-amiral commandant en chef en Cochinchine.)

II. — Trois échantillons de minerai et deux échantillons d'étain de Ko-Kieou, envoyés par M. de Kergaradec, ont été remis à l'École des mines, au nom de M. le ministre de la marine et des colonies, pour être analysés. Les analyses ont donné les résultats ci-dessous :

MINERAIS D'ÉTAÏN.

	Grains rouges.	Grains bruns. (1 ^{re} qualité.)	Poudre brune.
Oxyde d'étain.	80,50	82,90	92,50
(Étain métallique).	(63,30)	(63,20)	(72,80)
Peroxyde de fer.	16,60	14,60	6,30
Gangue.	2,90	2,40	1,00
	100,00	99,90	99,80

ÉTAÏN MÉTALLIQUE.

	de 1 ^{re} fusion.	de 2 ^e fusion.
Plomb.	12,30	traces
Fer.	3,30	0,51
Arsenic.	traces faibles	absence
Étain (par différence).	84,40	99,19
	100,00	100,00

Paris, 29 octobre 1877.

(Extrait des Registres du Bureau d'essai de l'École des mines de Paris.)

GISEMENTS DE CHARBON DU CAP DE BONNE-ESPÉRANCE.

Des gisements de charbon viennent d'être découverts au cap de Bonne-Espérance, dans les districts de Woodhouse et de Burgersdorp; il résulte des explorations faites par M. W. North, ingénieur des mines, que les couches paraissent avoir une étendue considérable; il en a retrouvé les affleurements sur des points fort éloignés les uns des autres. Mais le combustible qu'on en peut tirer, au moins au voisinage des affleurements, n'est pas de bonne qualité. D'après des essais faits à Cape Town, par M. le Dr Daniel Hain, il renferme de 23,48 à 31,91 p. 100 de cendres; on a obtenu par la carbonisation 74,97 à 80,85 p. 100 de coke.

Une analyse a donné les résultats suivants :

Cendres.	30,880
Carbone.	61,021
Eau.	0,070
Soufre.	0,433
Hydrogène.	3,208
Azote.	2,190
Oxygène (par différence).	2,178
	100,000

Des essais faits par M. Ella, dans une usine pour le lavage des laines établie près de Queen's Town, ont montré qu'une tonne de ce combustible, employé pour le chauffage des chaudières à vapeur, équivalait à deux tonnes de bois valant actuellement 22 shillings 6 pence la tonne; on a constaté, en outre, qu'il donnait très-peu de fumée.

Mais la difficulté des transports ne permet pas d'espérer pour ce charbon d'autre débouché que celui du voisinage immédiat des gisements, et, la région n'étant guère peuplée, il est peu probable qu'il puisse, quant à présent, être l'objet d'une exploitation régulière: la plupart des boërs établis dans le pays montrent d'ailleurs une très-grande indifférence à l'égard de cette découverte.

(Extrait d'un rapport adressé par M. LAUER, consul de France au cap de Bonne-Espérance, à M. le ministre des affaires étrangères, et d'un article du « Standard and Mail » annexé à ce rapport.)

R. Z.

TARIFS SPÉCIAUX POUR LE TRANSPORT PAR CHEMINS DE FER DE LA HOUILLE, DES MINÉRAIS DE FER ET DES FERS.

La direction des chemins de fer a publié récemment une brochure intitulée *Tarifs des chemins de fer*, qui abonde en renseignements précieux de toute nature sur l'exploitation commerciale des chemins d'intérêt général. Nous croyons devoir reproduire l'extrait suivant de quelques exemples de tarifs spéciaux (*).

HOUILLE.

La houille est taxée, d'après le tarif du cahier des charges, à 8 centimes, 5 centimes et 4 centimes, suivant la distance.

Or la houille paye, par tarif spécial :

Sur le réseau du Nord.	de 5,5 à 2,2
— de l'Est.	8 à 3
— de l'Ouest.	7 à 3
— d'Orléans.	8 à 2,3
— de la Méditerranée.	5,5 à 2,5
— du Midi.	7 à 2,7

Le tarif de la houille reste donc, pour les longs parcours, sensiblement au-dessous du maximum légal. Les réductions atteignent 45 p. 100.

MINÉRAI DE FER.

Le minerai de fer, dont le maximum légal est le même que celui de la houille, paye, par tarif spécial :

(*) Dans ces exemples sont indiqués deux prix, l'un maximum, l'autre minimum: le premier correspond aux petits parcours ou aux parcours moyens jusqu'à 300 kilomètres environ; le second correspond aux grands parcours excédant 300 kilomètres.

On remarquera que, sur les petits parcours, les prix du tarif spécial atteignent quelquefois le maximum légal. Dans ce cas, très-rare d'ailleurs, le seul avantage, pour le public, est d'avoir la faculté de faire lui-même le chargement et le déchargement de ses marchandises. Telle est l'unique justification de ces prix dans un tarif conditionnel.

Sur le réseau du Nord.	de	7,5 à 2,5
— de l'Est.		5 à 2
— de l'Ouest.		5 à 3,2
— d'Orléans.		6 à 2,4
— de la Méditerranée.		4,6 à 3
— du Midi.		7,7 à 2,8

Les réductions s'élèvent ainsi, sur les petits parcours, jusqu'à 42 p. 100, et à 50 p. 100 sur les grands parcours.

FONTE BRUTE.

La fonte brute, dont le maximum légal est de 10 centimes, est taxée par tarif spécial :

Sur le réseau du Nord.	de	10 ^c à 2 ^c ,8
— de l'Est.		5 à 3
— de l'Ouest.		5 à 3,5
— d'Orléans.		9,4 à 3,5
— de la Méditerranée.		5 à 3
— du Midi.		9,9 à 4,3

Les réductions s'élèvent jusqu'à 50 p. 100, sur les petits parcours, et elles varient, sur les grands parcours, de 57 à 72 p. 100.

FERS EN BARRES.

Les fers en barres, dont le maximum légal est de 14 centimes, payent, par tarif spécial :

Sur le réseau du Nord.	de	10 ^c à 3 ^c ,6
— de l'Est.		6 à 3,7
— de l'Ouest.		6 à 3,6
— d'Orléans.		9,4 à 5,3
— de la Méditerranée.		7,3 à 3,6
— du Midi.		8,8 à 3,6

Ce sont des réductions qui varient, pour les petits parcours, de 28 à 57 p. 100, et qui, pour les longs parcours, atteignent 74 p. 100.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DOUZIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

	Pages.
Notice géologique sur la subdivision de Tlemcen, par M. <i>Pouyanne</i>	81
Détermination des étages houillers à l'aide de la flore fossile. — Résumé des travaux de M. Grand'Eury, par M. R. <i>Zeiller</i>	341
De l'emploi du microscope polarisant à lumière parallèle pour la détermination des espèces minérales en plaques minces, par M. A. <i>Michel Lévy</i>	592

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

Mémoire sur la métallurgie du nickel, par M. <i>Badouveau</i> . . .	257
Études sur les hauts-fourneaux (suite). — Formes et dimensions intérieures des hauts-fourneaux, par M. L. <i>Gruner</i> . . .	472

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Étude sur les distributions par tiroirs dans les machines d'extraction, et en particulier sur le système de M. L. Guinotte, précédée d'une théorie géométrique du mouvement des tiroirs, par M. A. <i>Herdner</i>	5
Notice sur la mine de plomb argentifère d'Ancy (1495 à 1512), par M. <i>Debombourg</i>	66

OBJETS DIVERS.

Note sur l'emploi du zinc comme désincrustant, par M. <i>Brossard de Corbigny</i>	155
---------------------------------------------------------------------------------------------	-----

	Pages.
Note sur l'emploi des électro-sémaphores de MM. Lartigue, Tesse et Prudhomme pour la réalisation du block-system, par M. F. Cléroult.	165
Note sur la modification apportée aux électro-sémaphores de MM. Lartigue et Tesse dans le type adopté par la compagnie d'Orléans, par M. R. Zeiller.	225
Bulletin des explosions d'appareils à vapeur arrivées pendant l'année 1875.	490

BULLETIN.

Exposé de la situation de l'Algérie par le gouverneur général civil à l'ouverture de la session du conseil supérieur de gouvernement (15 novembre 1877).	504
Statistique de l'industrie minière de l'Autriche en 1875.	505
Exploration géologique du Canada.	518
Géologie et industrie minière des îles Philippines.	526
L'enseignement minéralurgique en Espagne.	534
Mines d'étain de Ko-Kieou (Chine).	539
Gisements de charbon du cap de Bonne-Espérance.	542
Tarifs spéciaux pour le transport par chemins de fer de la houille, des minerais de fer et des fers.	543

ERRATA.

Tome XI.

Page 240, lignes 1 à 3. Les trois explosions des 4 et 6 décembre 1875 sont survenues dans des mines autres que celles de Ferndale et Llwynypia.

Même page, lignes 6 et 7, au lieu de : « dans le pays de Galles », lire « en Grande-Bretagne ».

Tome XII.

Page 319, lignes 13 et 14, lire : Frais généraux. . . . 0^l,51 au lieu de 0^l,31
4^l,17 3^l,97

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DOUZIÈME.

- Pl. I, II, III. Distributions par tiroirs dans les machines d'extraction.
- Pl. IV. Carte géologique de la subdivision de Tlemcen.
- Pl. V et VI. Electro-sémaphores de MM. Lartigue et Tesse.
- Pl. VII, fig. 1 à 5. Electro-sémaphores modifiés : type de la compagnie d'Orléans.
- fig. 6 à 22. Métallurgie du nickel.
- Pl. VIII, IX, X. Étude des minéraux en plaques minces au moyen du microscope polarisant à lumière parallèle.
- Pl. XI, XII. Formes et dimensions intérieures des hauts-fourneaux.

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA SUBDIVISION DE TLEMCEN

par M.^r POUYANNE
Ingénieur des Mines.

M E R M É D I T

Iles de Mokren

Cap Noé

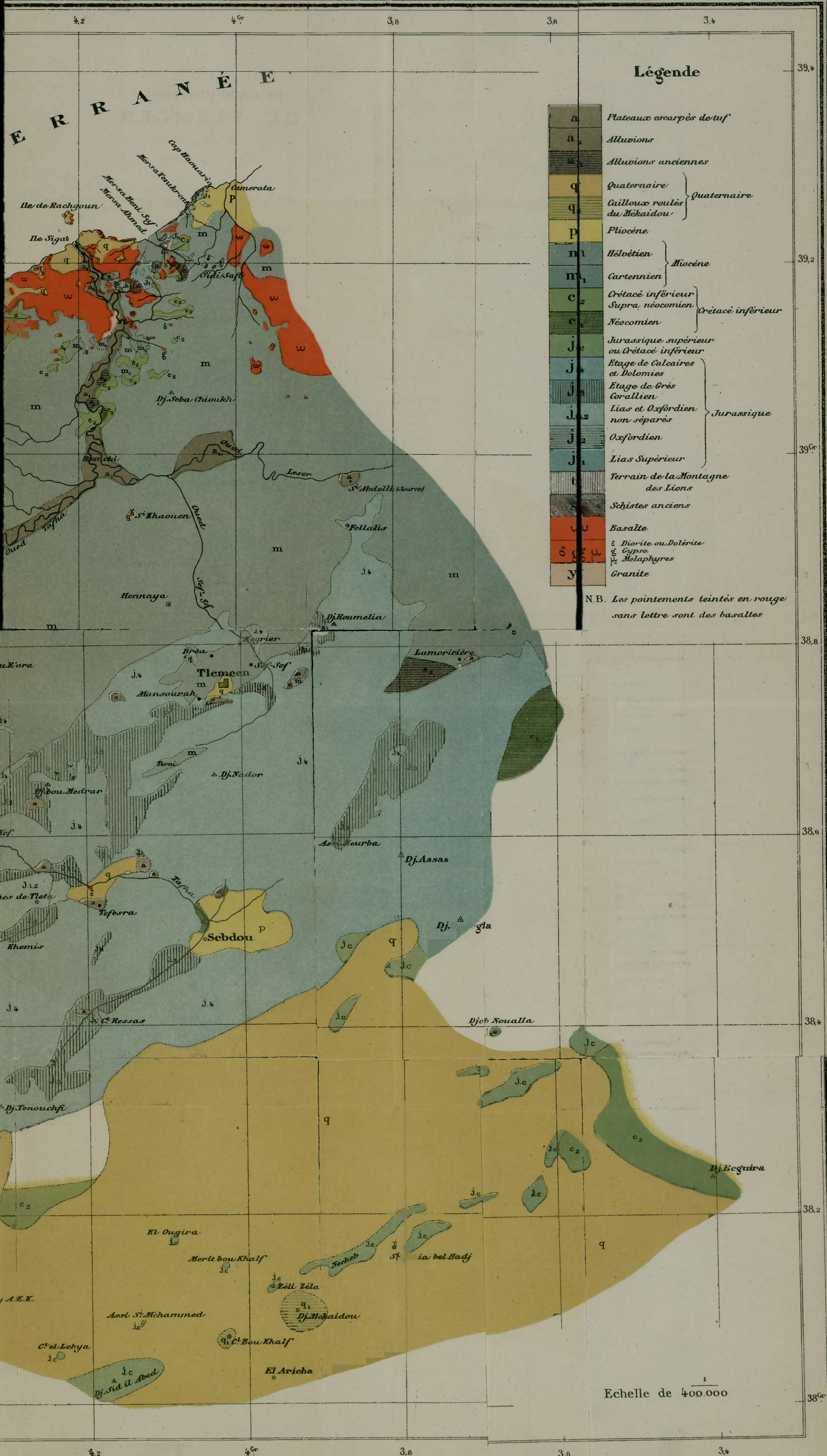
Nemours

Sidna Achcha

Nedroma

Fillawesen



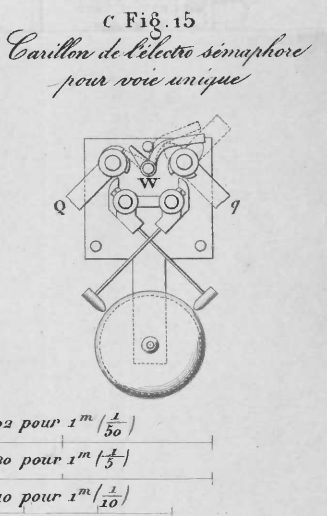
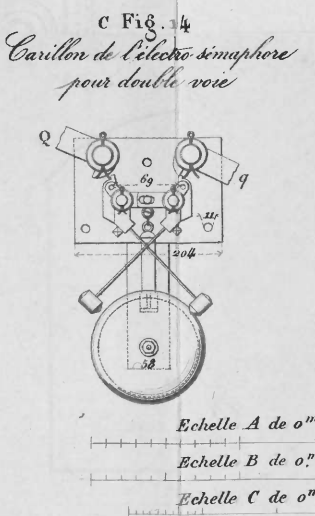
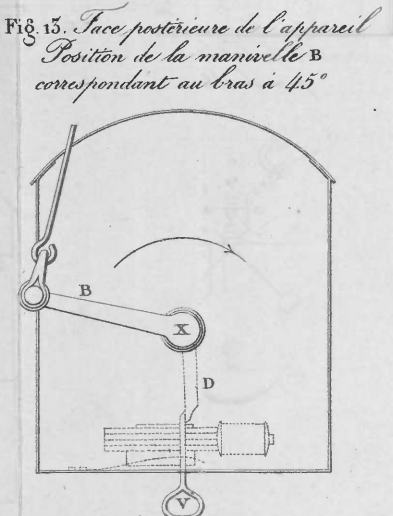
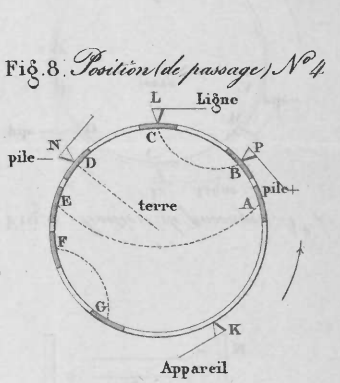
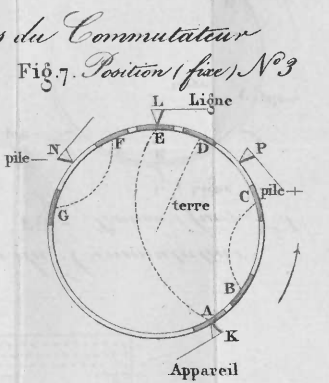
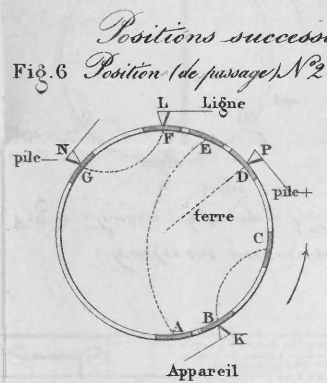
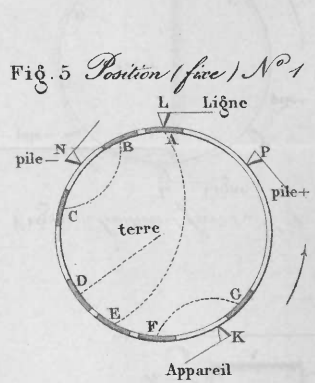
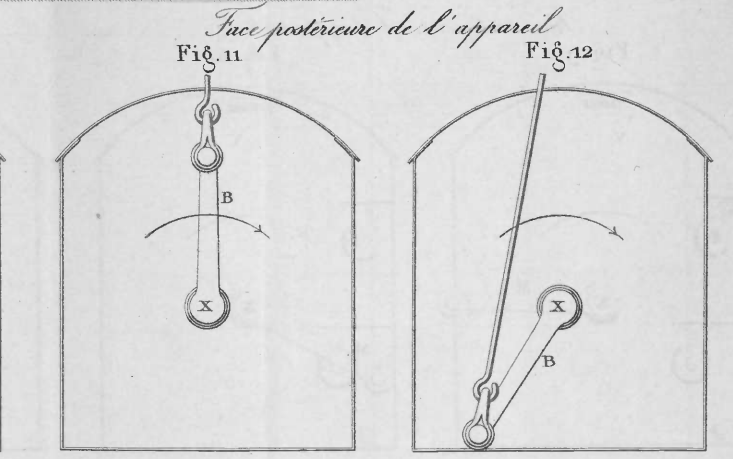
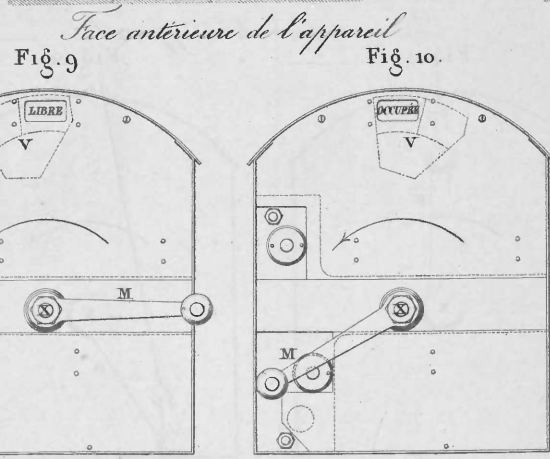
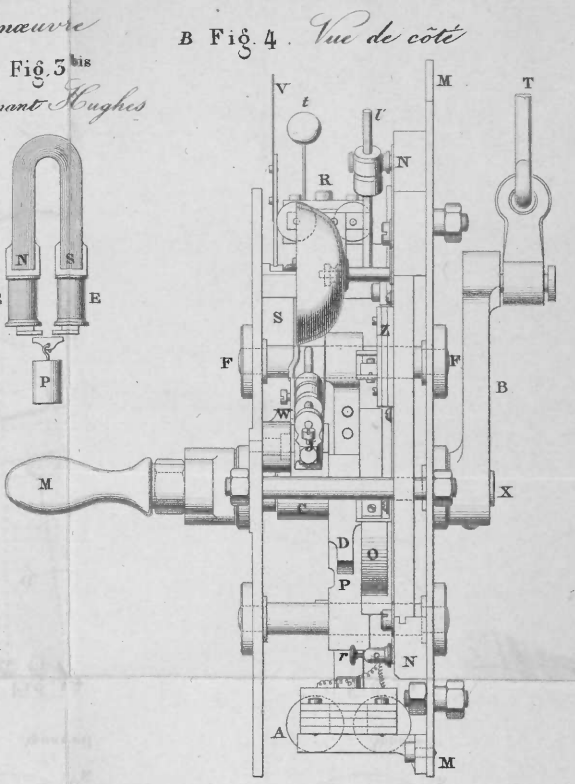
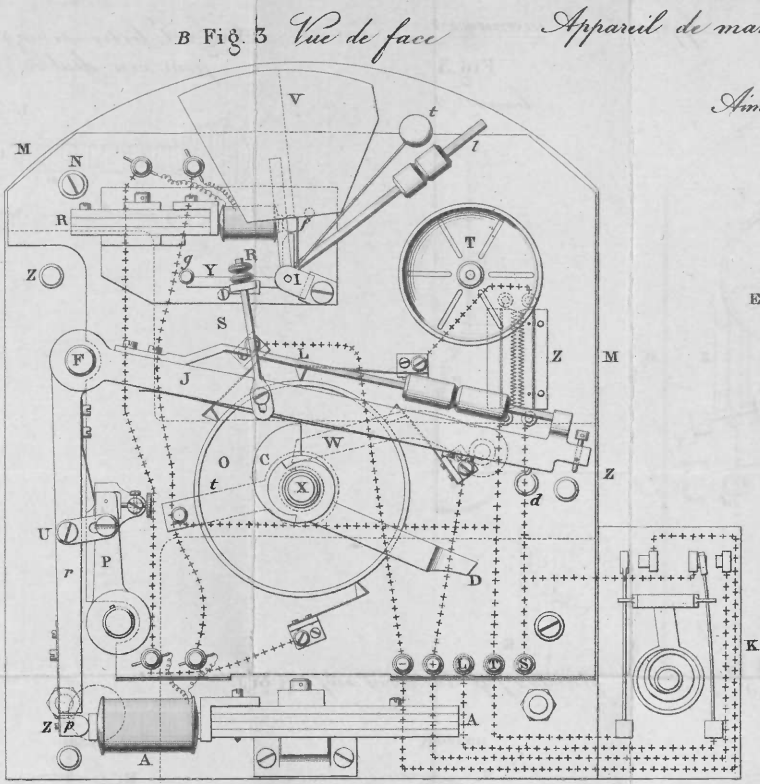
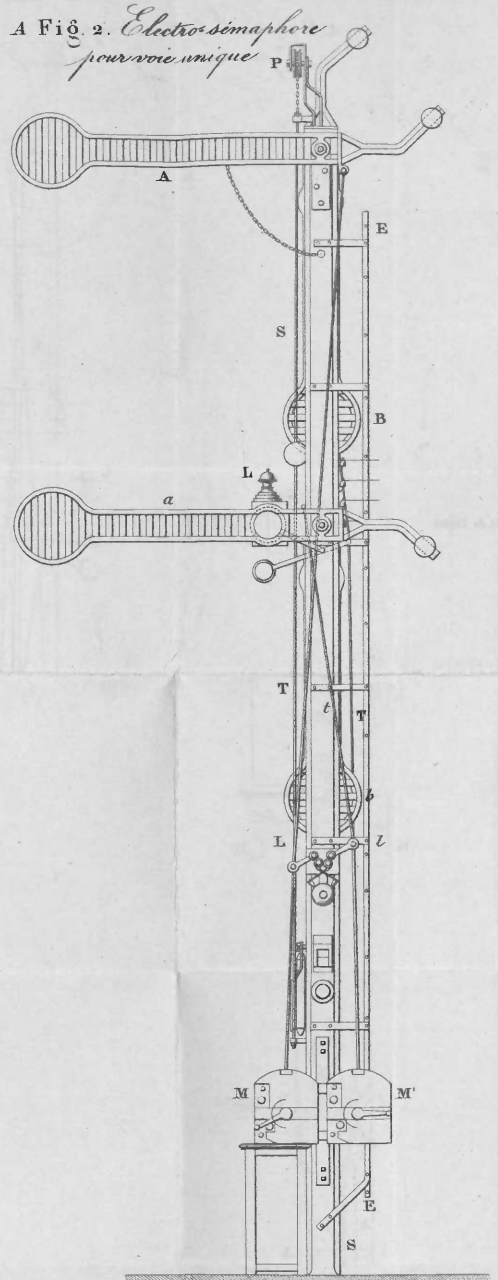
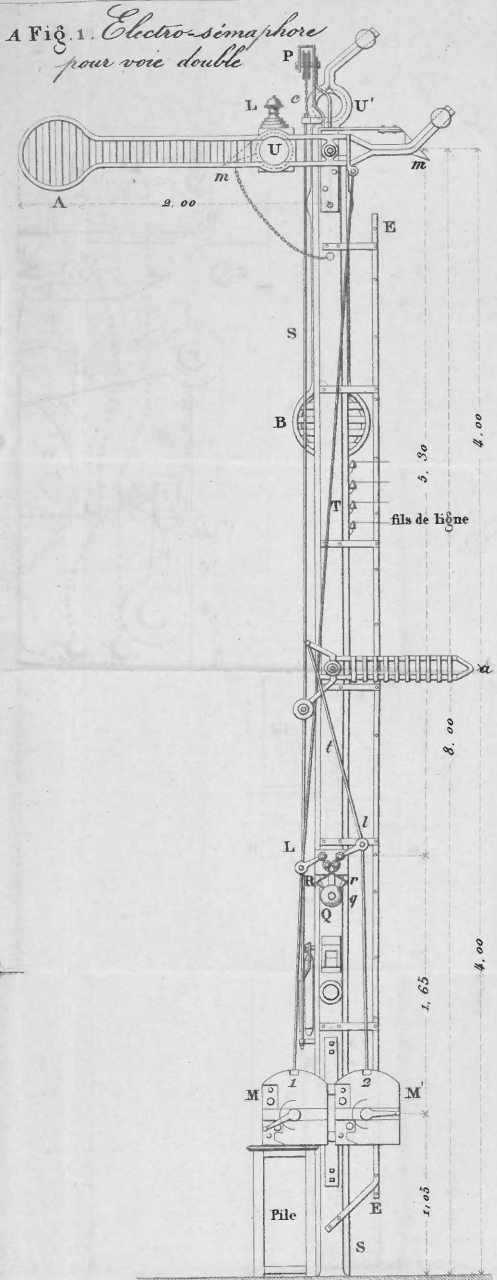


Légende

- a Plateaux escarpés de tuf
- a₁ Alluvions
- a₂ Alluvions anciennes
- q Quaternaire
- q₁ Cailloux roulés du Mékaidou
- p Pliocène
- m₁ Héloétien
- m₂ Cartennien
- c₂ Crétacé inférieur
- e Néocomien
- J₃ Jurassique supérieur ou Crétacé inférieur
- J₄ Étage de Calcaires et Dolomies corallien
- J₅ Étage de Grès corallien
- J₂ Lias et Oxfordien non séparés
- J₁ Oxfordien
- J₀ Lias Supérieur
- t Terrain de la Montagne des Lions
- s Schistes anciens
- u Basalte
- ε Diorite ou Dolérite
- g Gypse
- f Melaphyres
- y Granite

N.B. Les pointements teints en rouge sans lettre sont des basaltes

Echelle de 1/400.000



Echelle A de 0^m02 pour 1^m ($\frac{1}{50}$)
 Echelle B de 0^m20 pour 1^m ($\frac{1}{5}$)
 Echelle C de 0^m10 pour 1^m ($\frac{1}{10}$)

Disposition des électro-sémaphores et des postes de gardes

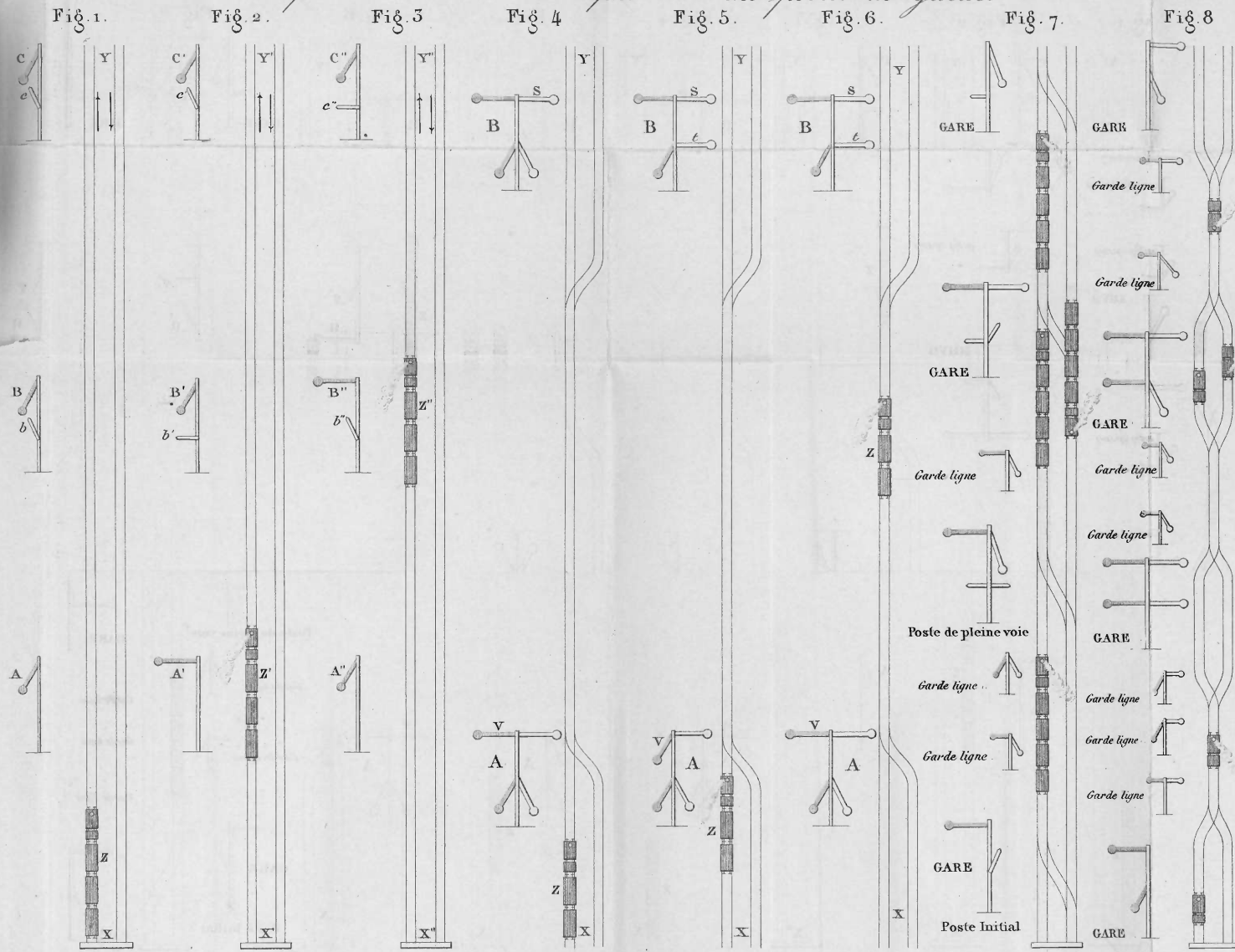


Fig. 9. *Aile équilibrée avec levier accessoire* Fig. 10. *Appareil intermédiaire de garde ligne*

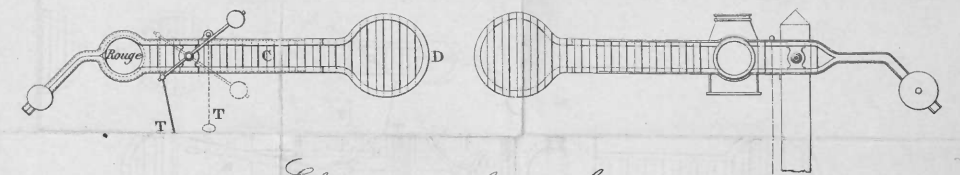


Fig. 11. *Electro-sémaphore volant*

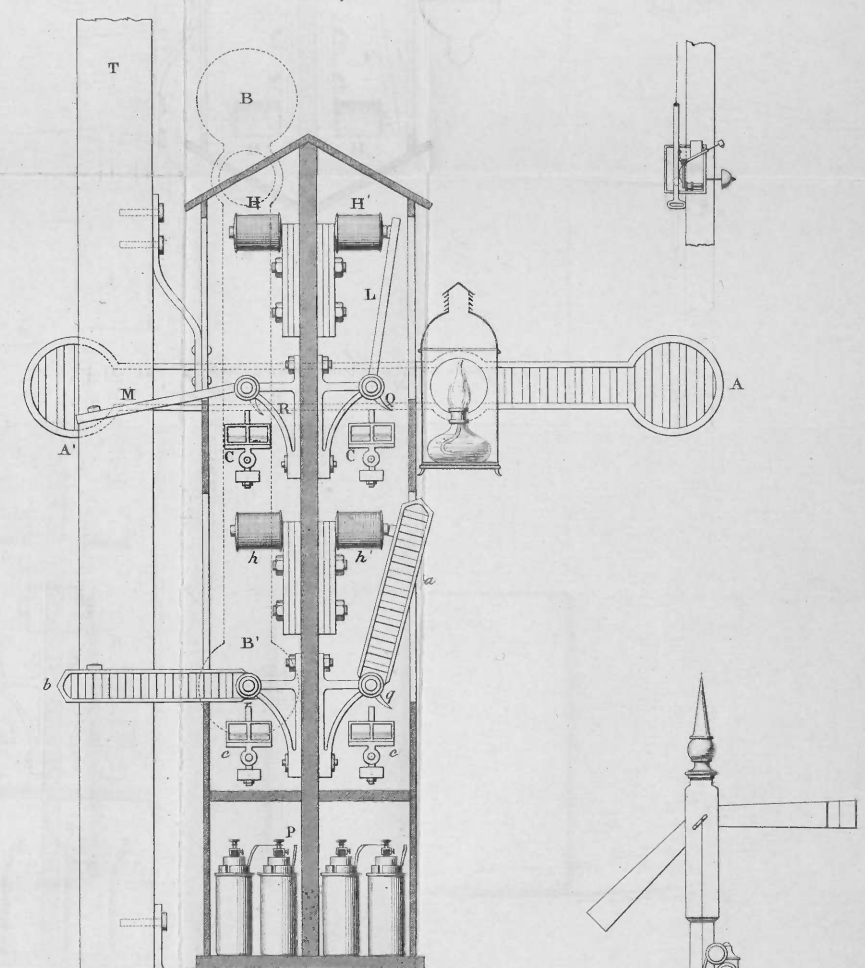


Fig. 12. *Service électro-sémaphorique. Courses de Chantilly 23 Mai 1876*

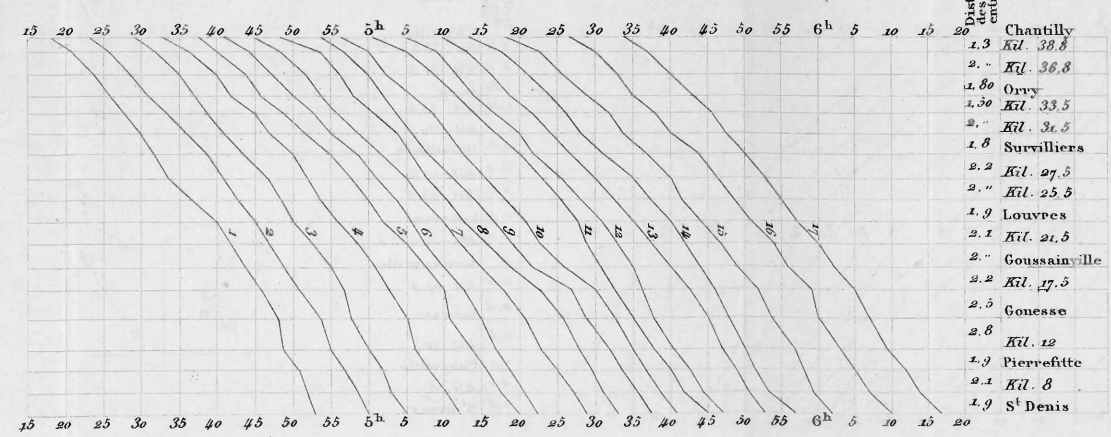
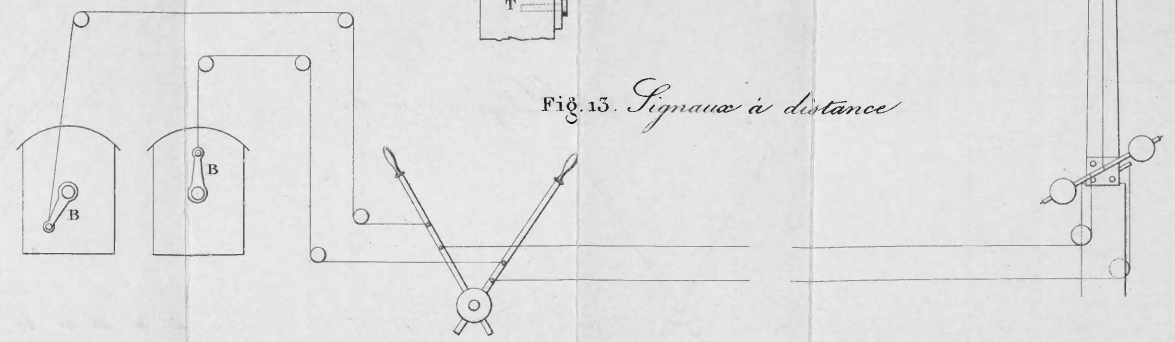
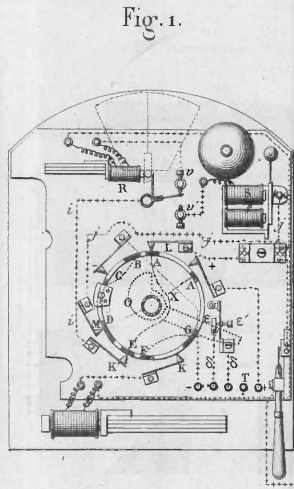
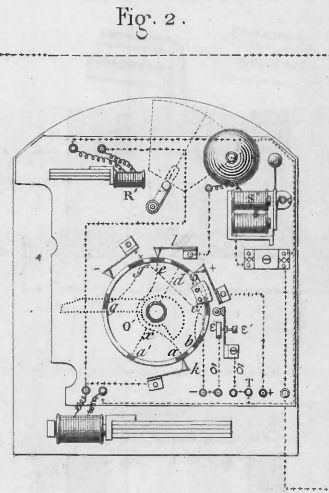


Fig. 13. *Signaux à distance*





Porte A. Appareil N° 1.



Porte B. Appareil N° 2.

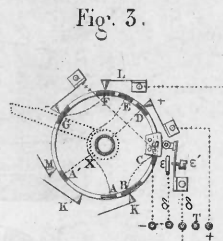


Fig. 3.

fil de ligne

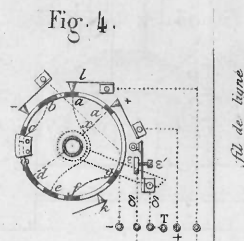


Fig. 4.

fil de ligne

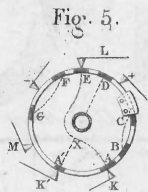


Fig. 5.

Echelle des Fig. 1, 2, 3, 4 et 5
de 0^m 10 centimètres pour mètre

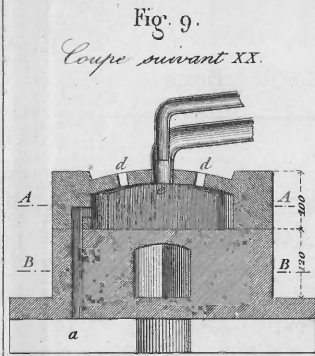
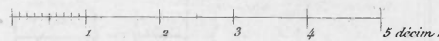


Fig. 9.

Coupe suivant XX.

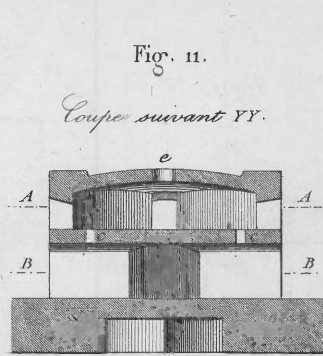


Fig. 11.

Coupe suivant YY.

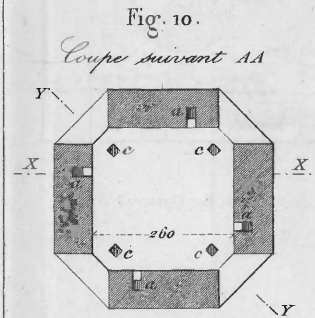


Fig. 10.

Coupe suivant AA

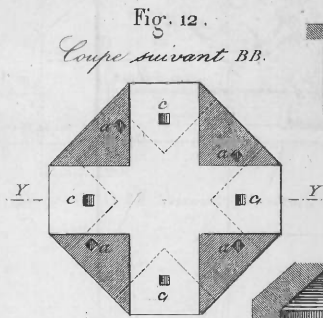


Fig. 12.

Coupe suivant BB.

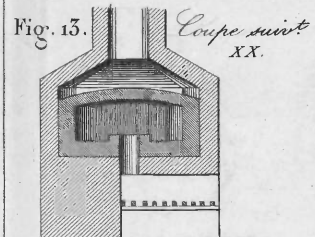


Fig. 13.

Coupe suivant XX.

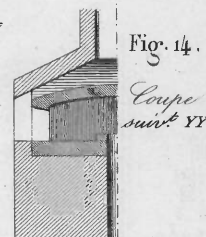


Fig. 14.

Coupe suivant YY.

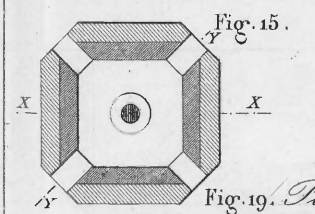


Fig. 15.

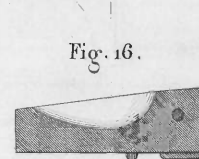


Fig. 16.

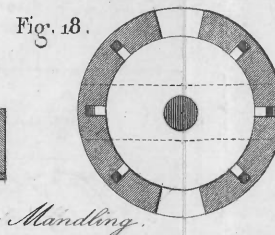


Fig. 18.

Fig. 19. Plan de l'usine de Mandlong.

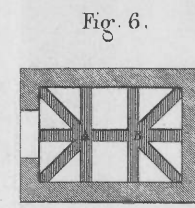
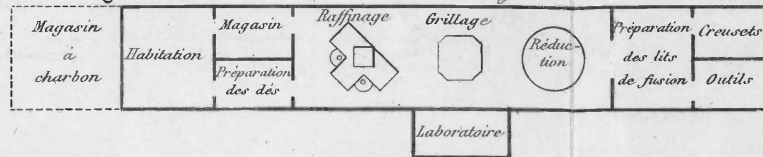


Fig. 6.

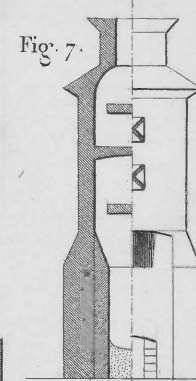


Fig. 7.

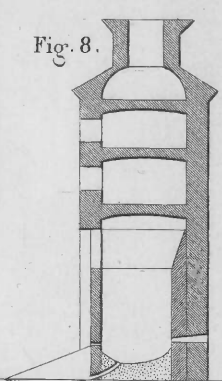


Fig. 8.

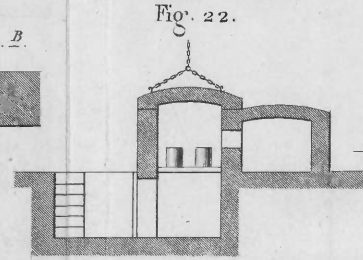


Fig. 22.

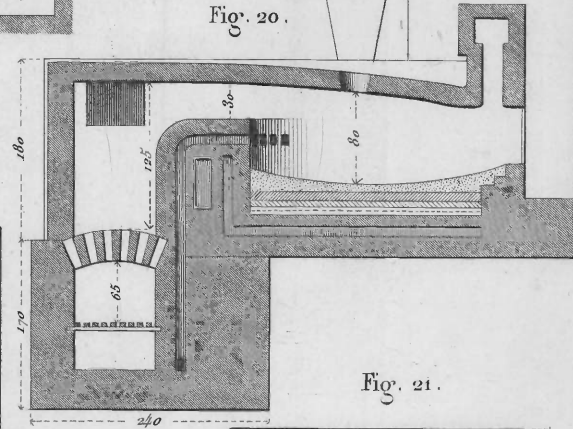


Fig. 20.

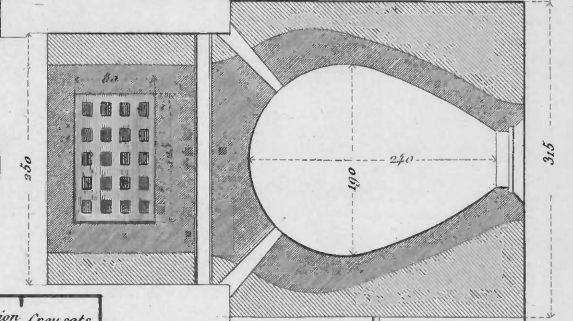
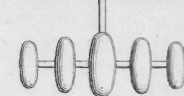
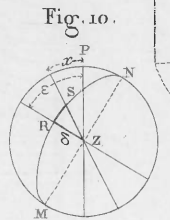
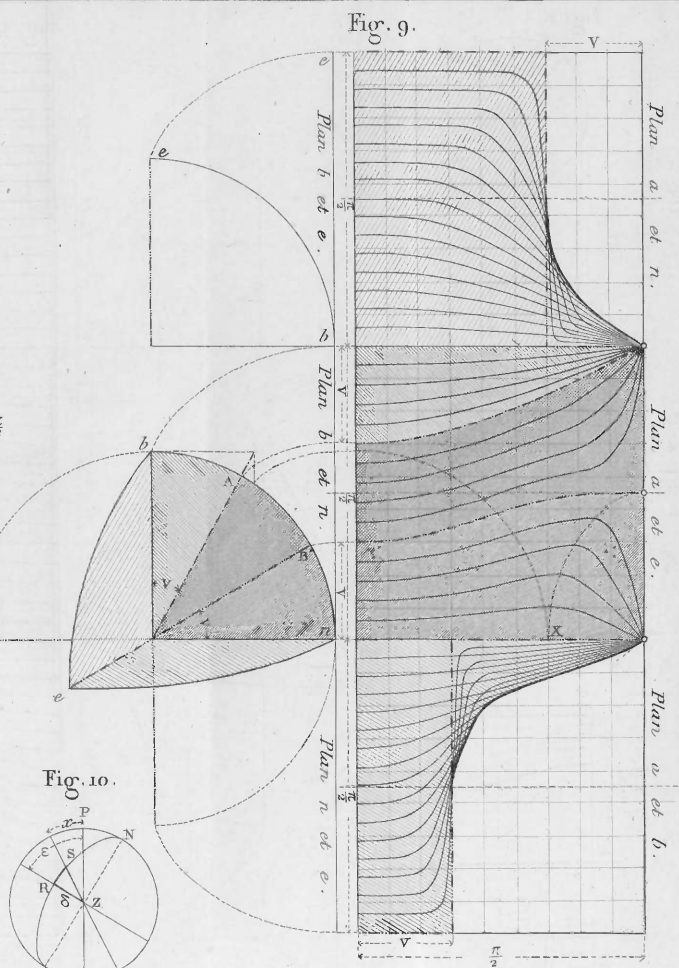
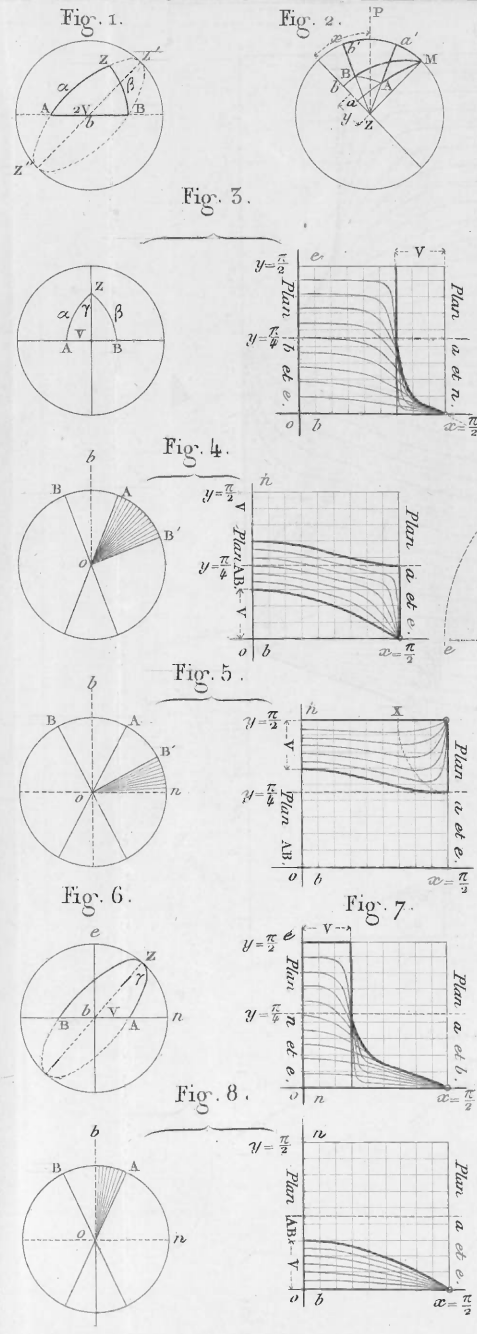


Fig. 21.





Légende

a Arête de zone. e Axe d'élasticité moyenne.
 b Bissectrice. A Axe optique.
 n Normale optique. B Perpendiculaire à l'axe optique B.

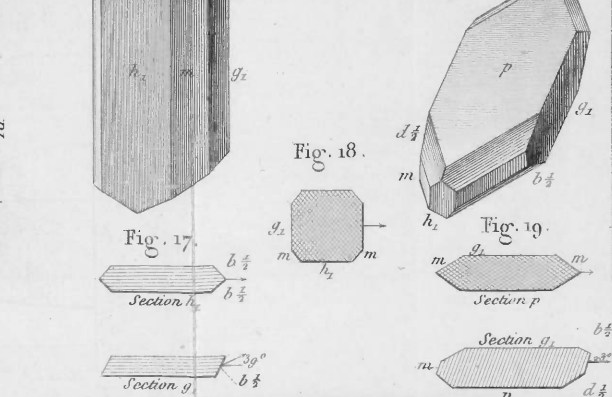
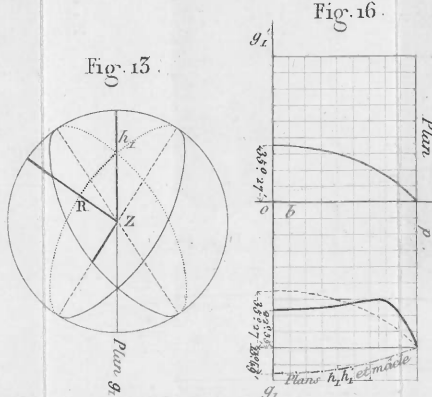
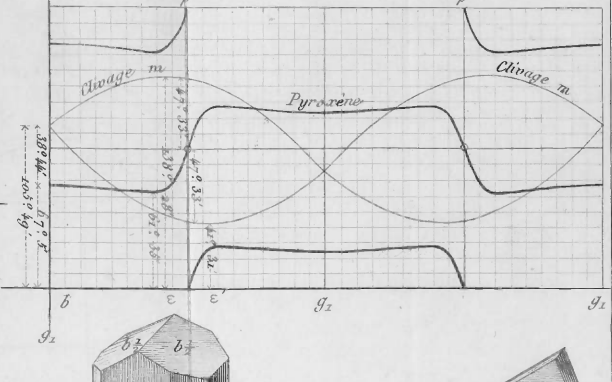
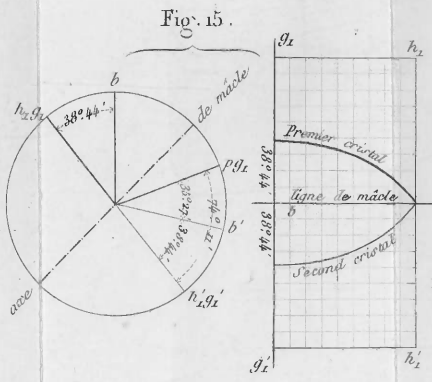
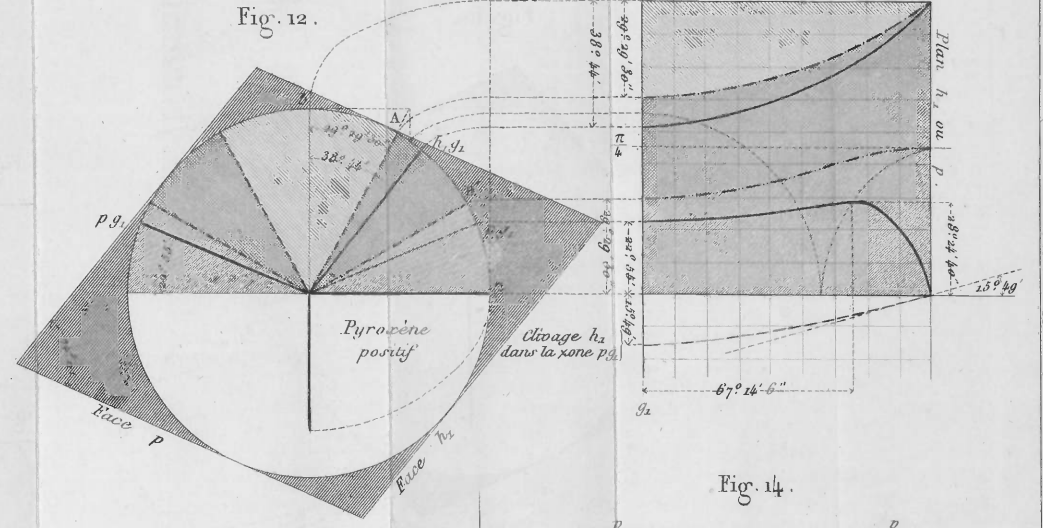
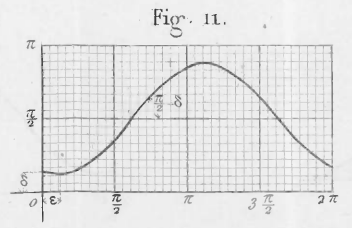


Fig. 20.

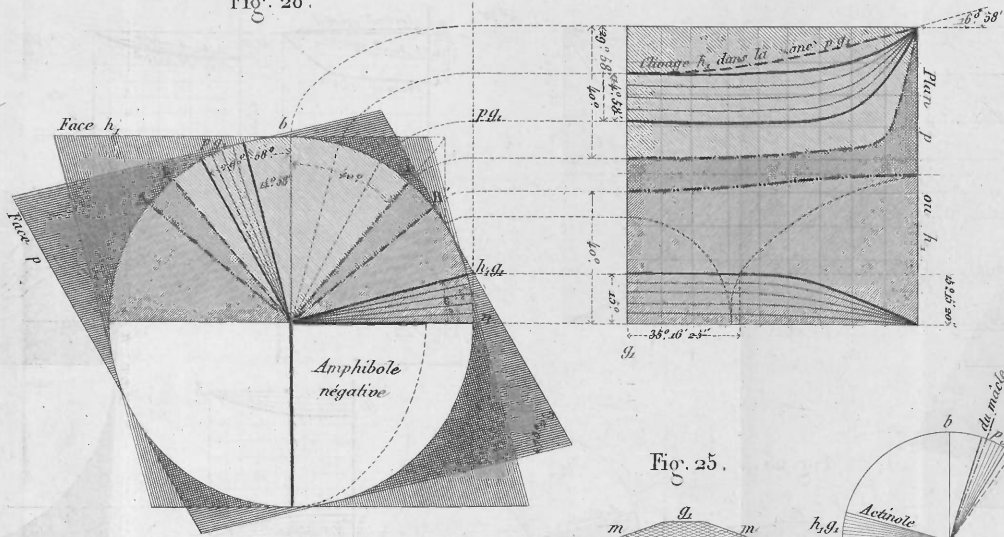


Fig. 23.

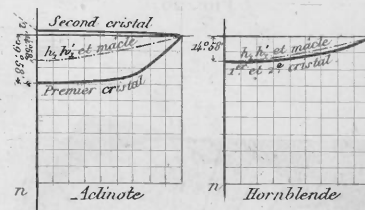


Fig. 27.

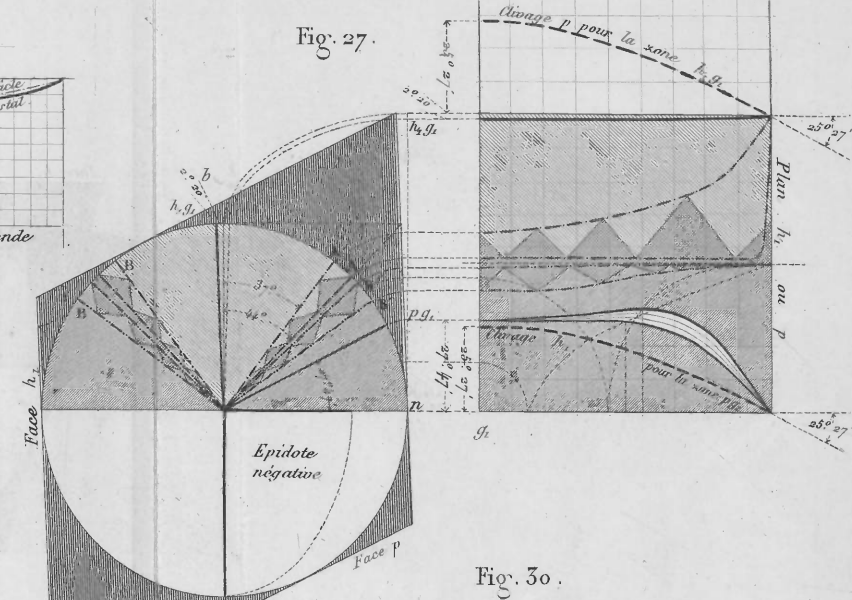


Fig. 22.

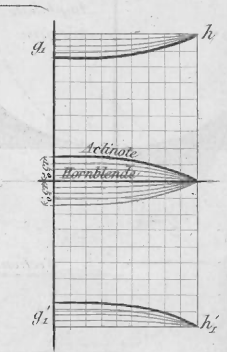


Fig. 25.

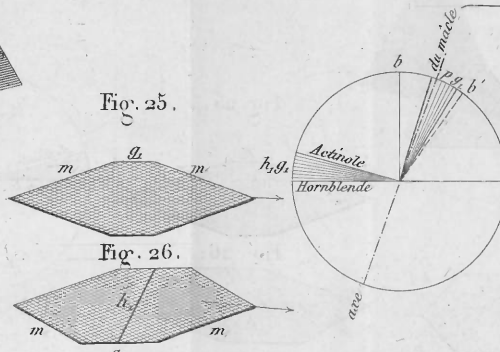


Fig. 26.

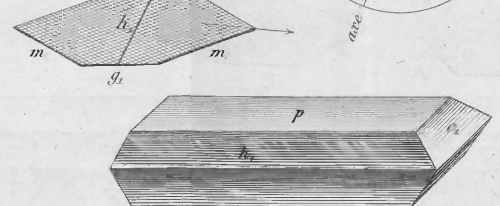


Fig. 24.

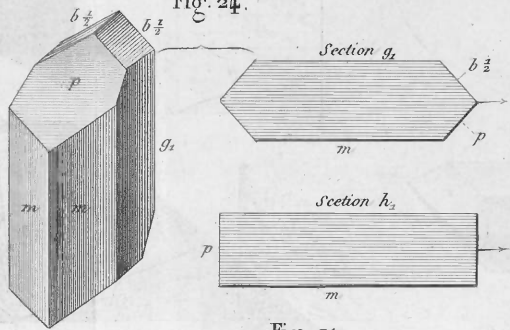


Fig. 21.

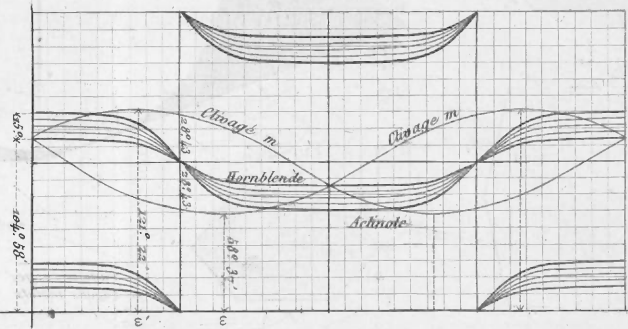


Fig. 28.

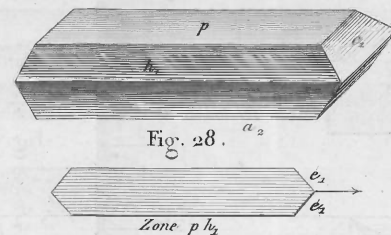


Fig. 31.

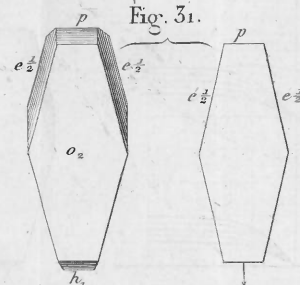


Fig. 29.

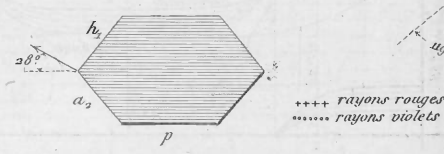


Fig. 30.

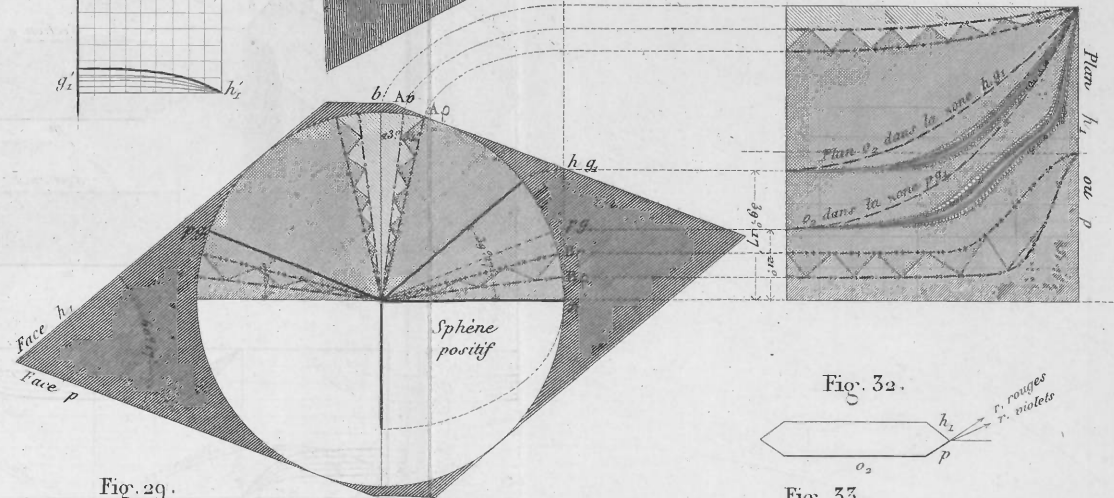


Fig. 32.

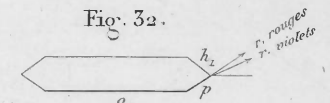
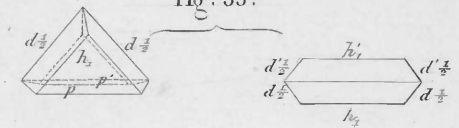


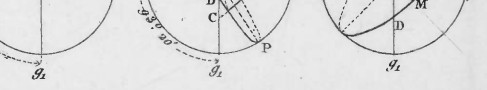
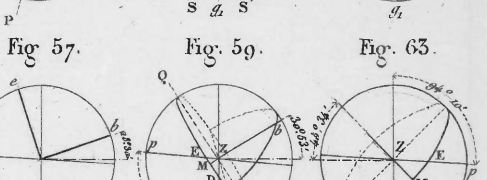
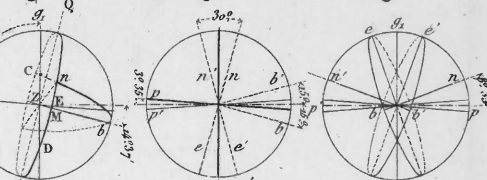
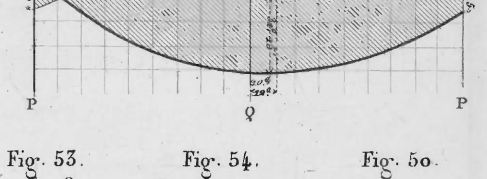
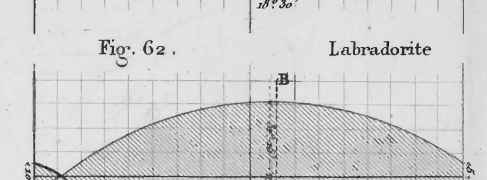
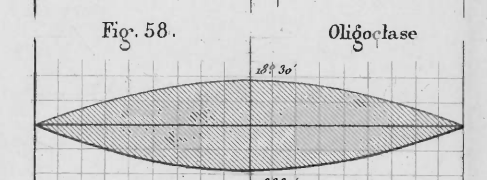
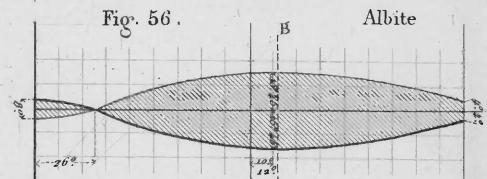
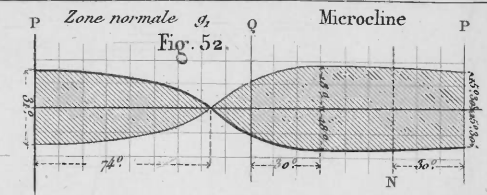
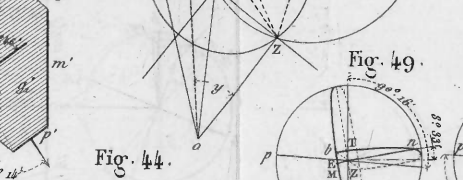
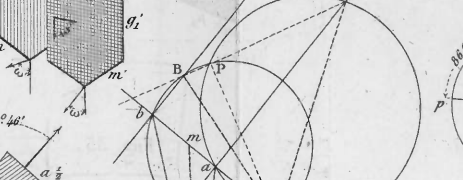
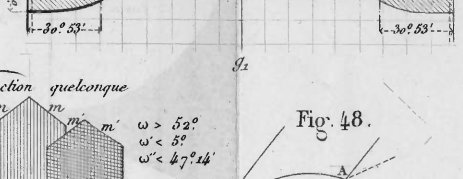
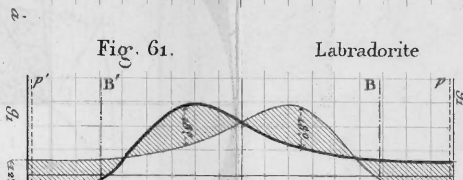
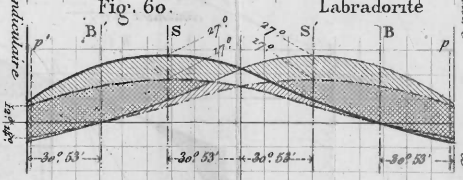
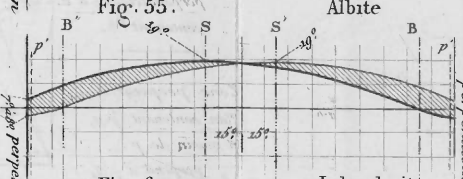
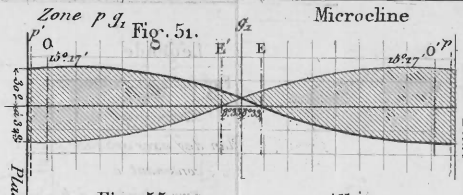
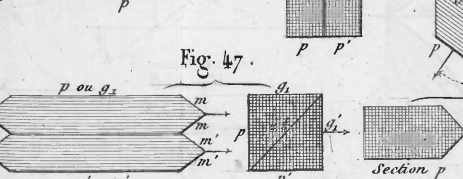
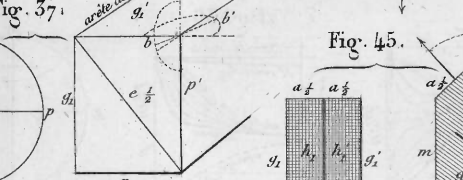
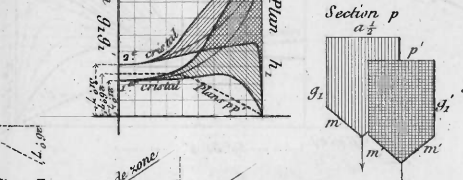
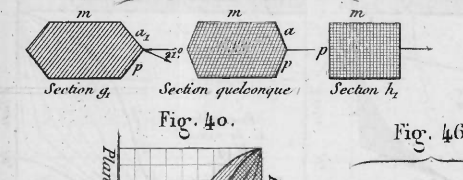
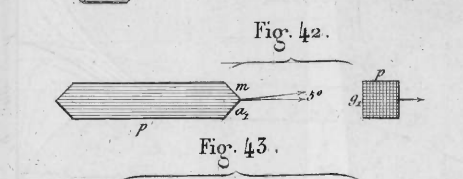
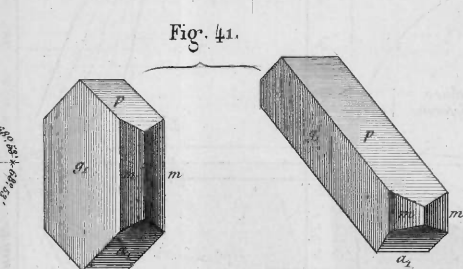
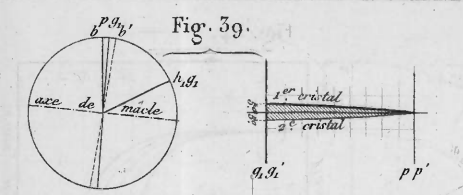
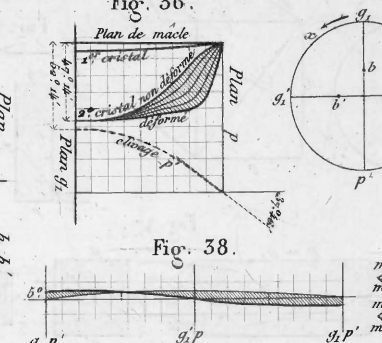
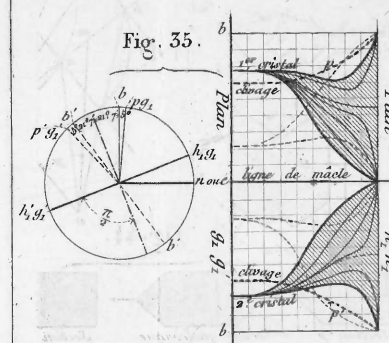
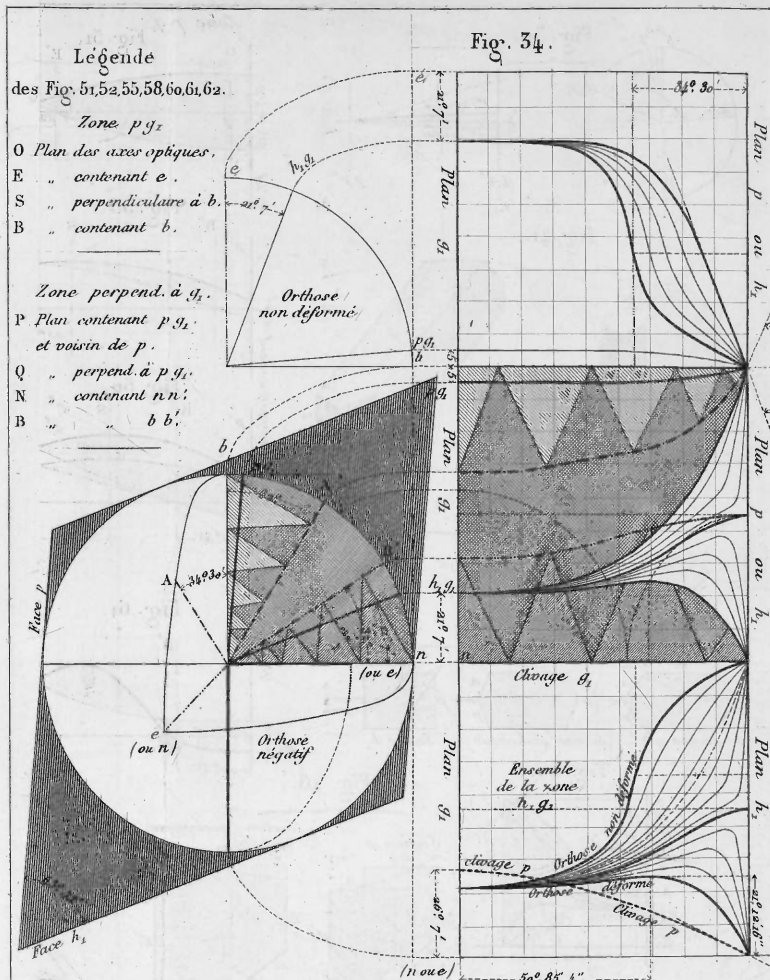
Fig. 33.



Légende
des Fig. 51, 52, 55, 58, 60, 61, 62.

Zone $p g_1$
O Plan des axes optiques.
E .. contenant e.
S .. perpendiculaire à b.
B .. contenant b.

Zone perpend. à g_1 .
P Plan contenant $p g_1$
et voisin de p.
Q .. perpend. à $p g_1$.
N .. contenant $n n'$.
B .. " " b b'.



HAUTS FOURNEAUX TRAPUS (Fig. 1 à 6.)

HAUTS FOURNEAUX ORDINAIRES (Fig. 7 à 15.)

ANCIENS HTS FOURNEAUX.

du Cleveland

de Dowlais

Longwy
1873

Clarence
1853

Thornaby
1861

Ormesby
1870

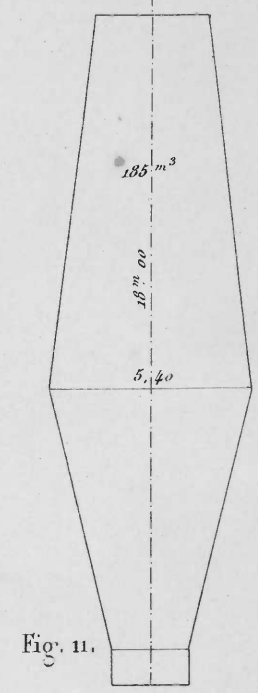
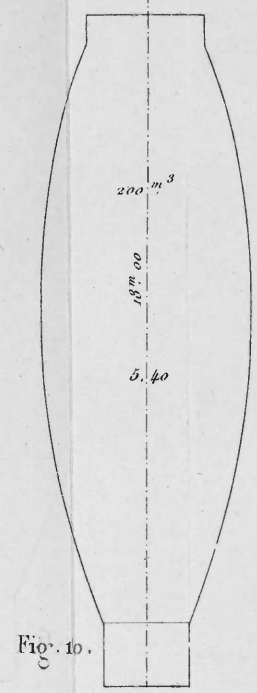
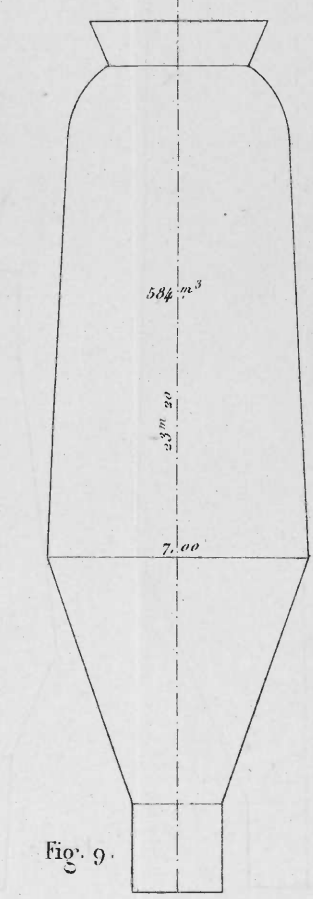
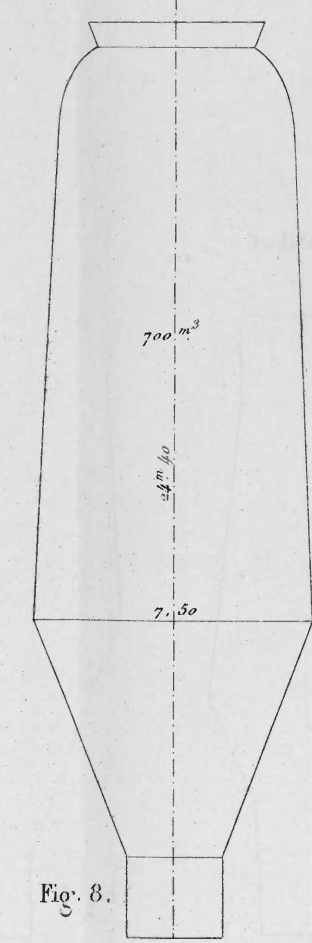
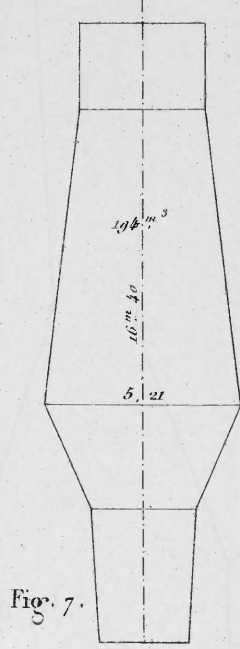
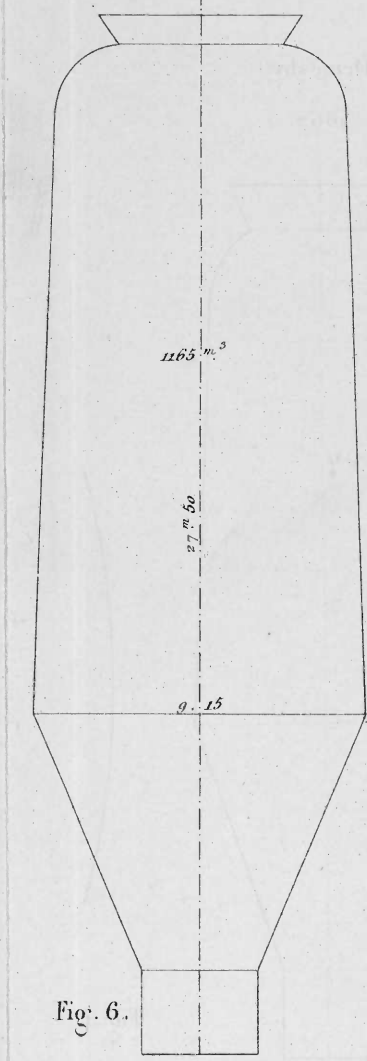
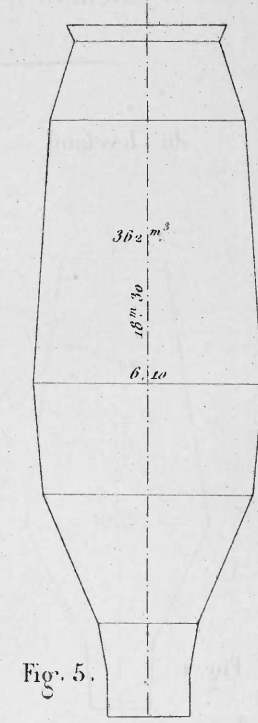
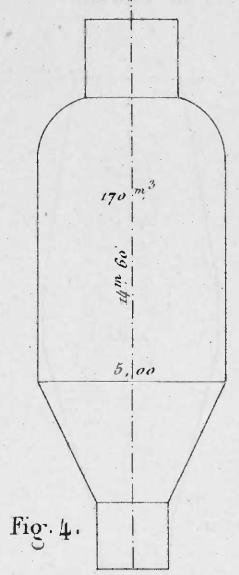
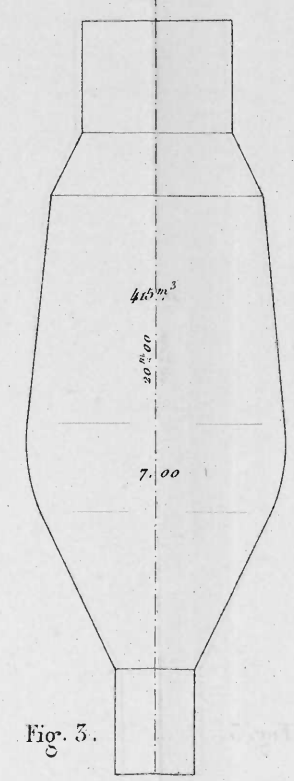
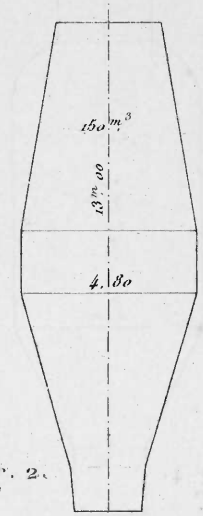
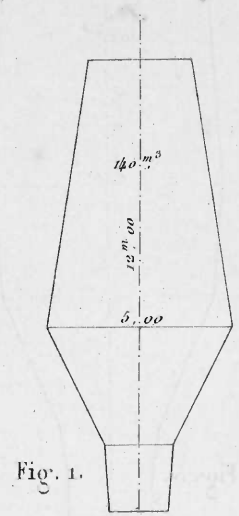
Niklasdorf

Clarence
1870

Ormesby
1867

Gartsherie

Longwy



H/D
Volume par 4^{ne} }
produite p^r 24^h }
2.40 6 m³
2.70 6 m³
2.85 10 m³

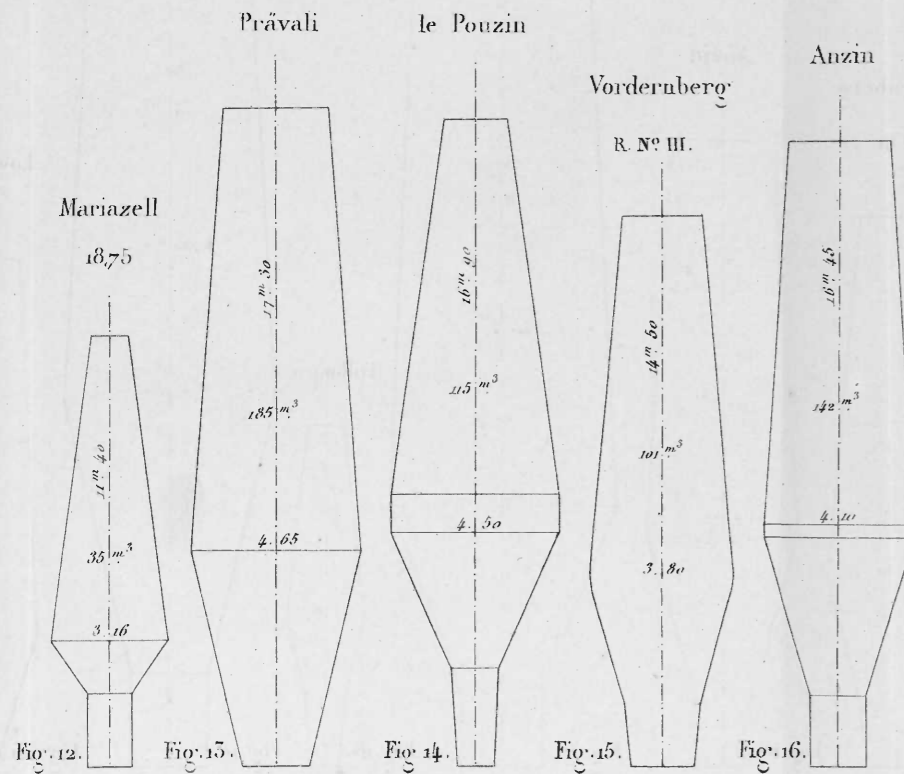
2.92 5 m³ 6
3.00 7 m³
3.00 13 m³
3.10 6 à 7 m³
3.25 11 m³ 7
3.30 9 m³ 2
3.33 7 1/2 à 8 m³
3.33 6 m³

Echelle de 0^m 005 pour 1 mètre.

30 mètres.

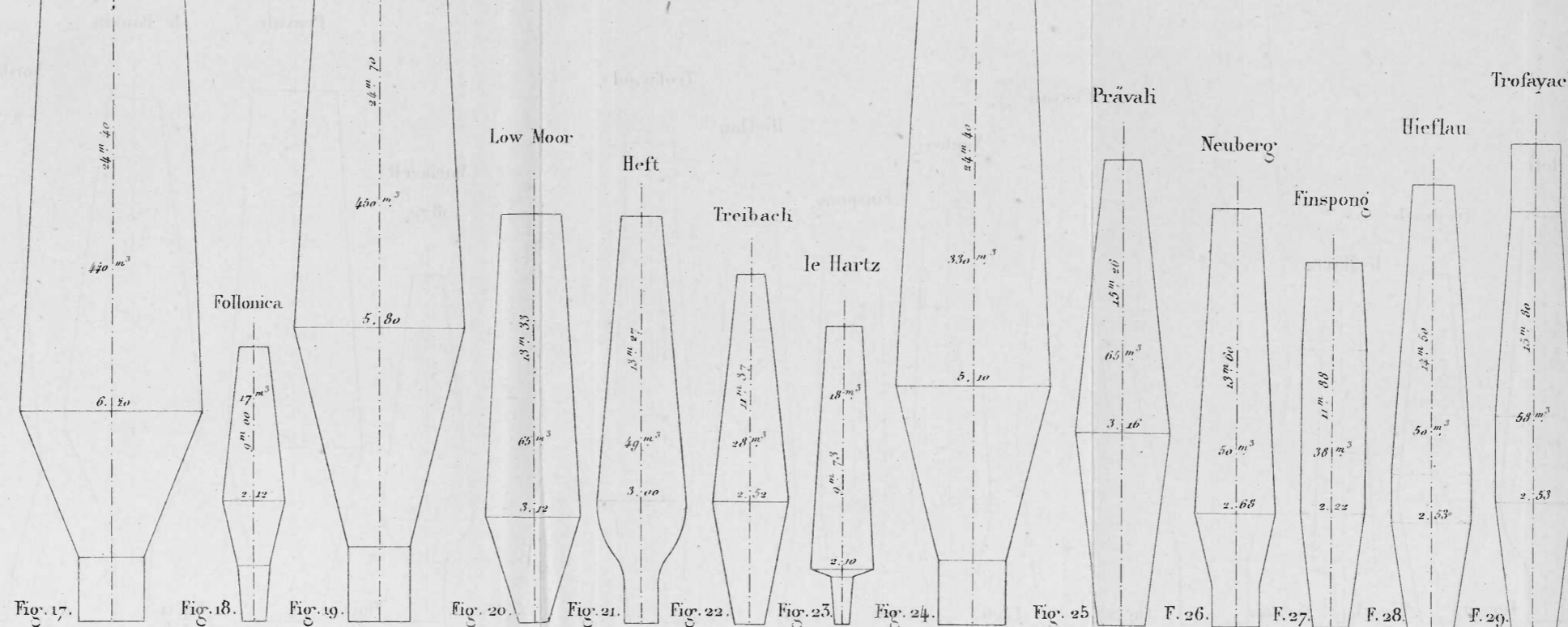
HAUTS FOURNEAUX ORDINAIRES (SUITE.)

(Fig. 7 à 15.)



HAUTS FOURNEAUX ÉLANCÉS

(Fig. 16 à 29.)



HAUTS FOURNEAUX TYPES

(Fig. 30 à 32.)

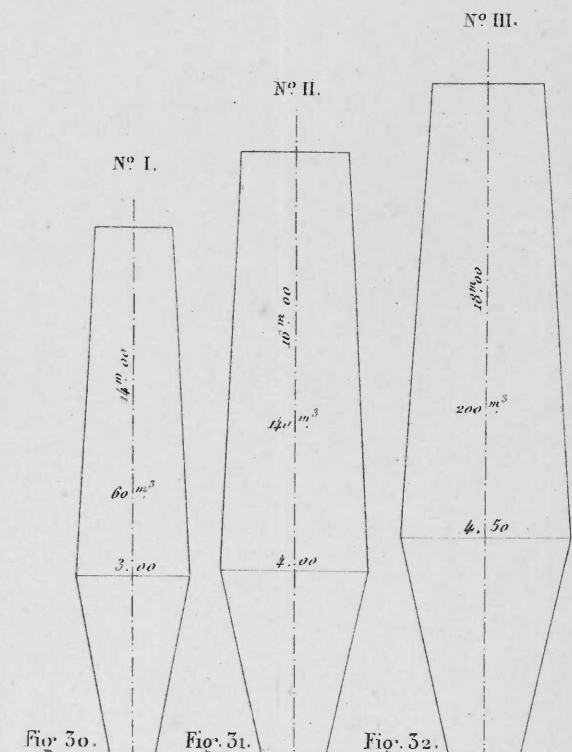


Fig.	H	D	Volume par 24h
Fig. 12	3.62	1.10	5 m ³
Fig. 13	3.72	1.30	5 à 6 m ³
Fig. 14	3.75	1.60	6 à 7 m ³
Fig. 15	3.83	1.50	3 m ³ 6
Fig. 16	4.00	1.65	4 m ³
Fig. 17	4.00	2.40	6 m ³ 8
Fig. 18	4.24	1.00	1 m ³ 3
Fig. 19	4.26	2.40	3 à 4 m ³
Fig. 20	4.30	1.33	6 à 7 m ³
Fig. 21	4.43	1.27	3 m ³
Fig. 22	4.55	1.32	2 m ³
Fig. 23	4.63	1.73	6 m ³
Fig. 24	4.70	2.40	9 m ³ 6
Fig. 25	4.84	1.26	2 m ³
F. 26	5.11	1.60	3 m ³
F. 27	5.33	1.88	6 m ³
F. 28	5.73	1.50	2 m ³ 5
F. 29	6.20	1.50	18 à 2 m ³
Fig. 30	4.66	1.00	60 m ³
Fig. 31	4.00	1.00	140 m ³
Fig. 32	4.00	1.80	200 m ³

Echelle de 0^m 005 pour 1 mètre

